**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TRATORES
AGRÍCOLAS, COM TRACÇÃO 4x2 E 4x2
AUXILIAR EM CONDIÇÃO DE CAMPO**

**MOACYR MACHADO CARDOSO JUNIOR
ENGENHEIRO AGRÔNOMO**

ORIENTADOR : PROF. DR. LUIZ ANTONIO BALASTREIRE

**Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agronomia, Área de
concentração : Máquinas Agrícolas**

**PIRACICABA
Estado de São Paulo - Brasil
Agosto de 1991**

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Cardoso Junior, Moacyr Machado

C268a Análise do desempenho de tratores agrícolas, com tração 4x2 e 4x2 auxiliar em condição de campo. Piracicaba, 1991.
104p. ilustr.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Trator agrícola - Ensaio 2. Trator agrícola com tração dianteira auxiliar - Desempenho - Análise 3. Trator agrícola com tração dianteira auxiliar - Desempenho - Simulação I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 631.372

**ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TRATORES
AGRÍCOLAS, COM TRAÇÃO 4x2 E 4x2
AUXILIAR EM CONDIÇÃO DE CAMPO**

MOACYR MACHADO CARDOSO JUNIOR

Aprovada em: 11-09-91

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. LUIZ ANTONIO BALASTREIRE	ESALQ/USP
Prof. Dr. ANTONIO OSCAR BRAUNBECK	FEAGRI/UNICAMP
Prof. Dr. PAULO S. GRAZIANO MAGALHÃES	FEAGRI/UNICAMP

Prof. Dr. LUIZ ANTONIO BALASTREIRE
Orientador

Dedico

**A minha esposa Marly,
e aos meus pais**

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Luiz Antonio Balastreire, na qualidade de orientador, pela oportunidade de partilhar do seu conhecimento, podendo contar com seu apoio, incentivo e amizade.

A Marly, minha esposa, pelo incentivo e apoio durante toda a realização deste trabalho.

Aos colegas do curso de Pós-Graduação em Máquinas Agrícolas, pelo espírito de coleguismo e incentivo.

Ao Engenheiro Agrônomo Nelson Francisco da Silva, pela preciosa colaboração durante a realização do ensaios de campo.

Ao Engenheiro Juarez Renó do Amaral e Marcelo Michelotto do laboratório de Instrumentação Agrícola pela dedicação na construção dos equipamentos utilizados.

Ao Centro Nacional de Engenharia Agrícola - CENEA, pela cessão do campos experimentais e laboratórios.

A Valmet do Brasil, pelo empréstimo dos tratores utilizados neste ensaio.

A FAPESP, pela bolsa de estudos concedida, que viabilizou a realização deste trabalho.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural.

As bibliotecárias Eliana Maria Garcia Sabino e Katia Maria Pita de Andrade, pelos serviços prestados ao longo do trabalho.

A todos aqueles que de uma forma ou outra colaboraram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

Lista de tabelas.....	vi
Lista de figuras.....	viii
Lista de símbolos.....	x
Resumo.....	xiv
Summary.....	xvi
1. Introdução.....	1
2. Revisão de literatura.....	2
2.1. Simulação do comportamento.....	2
2.2. Comparação de tratores 4x4, 4x2 e 4x2 com tração dianteira auxiliar.....	30
3. Material e métodos.....	36
3.1 Material.....	36
3.1.1. Tratores.....	36
3.1.1.1. Pneumáticos.....	36
3.1.2. Campo de ensaio.....	36
3.1.3. Equipamentos de mensuração.....	37
3.2. Métodos.....	37
3.2.1. Método de ensaio.....	37
3.2.1.1. Mensuração da força de tração na barra.....	38
3.2.1.2. Cálculo da velocidade.....	39
3.2.1.3. Cálculo do patinamento.....	40
3.2.1.4. Cálculo da potência na barra.....	40
3.2.1.5. Cálculo da razão dinâmica de tração.....	40
3.2.1.6. Análise comparativa dos modelos de tratores.....	41
3.2.2. Método de simulação da razão dinâmica de tração.....	43
4. Resultados e discussão.....	46
4.1. Resultados da comparação do trator 4x2 vs. 4x2 Auxiliar.....	46
4.1.1. Análise da força de tração na barra em solo firme.....	46

4.1.2. Análise da força de tração na barra em solo mobilizado.....	48
4.1.3. Análise da potência na barra de tração em solo firme.....	49
4.1.4. Análise da potência na barra de tração em solo mobilizado.....	51
4.1.5. Análise de velocidade de deslocamento dos tratores em solo.....	52
4.1.6. Análise de velocidade de deslocamento dos tratores em solo mobilizado.....	53
4.1.7. Resultados da comparação das variáveis força, potência e velocidade sobre solo firme...	55
4.1.8. Resultados da comparação das variáveis força, potência e velocidade sobre solo mobilizado.....	57
4.1.9. Comparação do desempenho em solo firme e mobilizado.....	59
4.1.10. Análise da razão dinâmica de tração.....	59
4.2. Resultados da simulação da razão dinâmica de tração.....	64
4.2.1. Resultados da simulação do desempenho do trator 4x2 em solo firme.....	64
4.2.2. Resultados da simulação do desempenho do trator 4x2 em solo mobilizado.....	66
4.2.3. Resultados da simulação do desempenho do trator 4x2 auxiliar em solo firme.....	66
4.2.4. Resultados da simulação do desempenho do trator 4x2 auxiliar em solo mobilizado.....	68
4.3. Resultados da simulação da eficiência tratória.....	73
5. Conclusões.....	76
Referências bibliográficas.....	78
Apêndices.....	84

LISTA DE TABELAS

vi

Tabela

1. Parâmetros do modelo solo-rodado.....	8
2. Resultados da comparação entre tratores 4x2 e 4x2 com tração dianteira auxiliar.....	31
3. Equações de regressão para a variável força vs. patinamento em solo firme.....	46
4. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável força vs. patinamento em solo firme.....	46
5. Equações de regressão para a variável força vs. patinamento em solo mobilizado.....	48
6. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável força vs. patinamento em solo mobilizado.....	48
7. Equações de regressão para a variável potên- cia vs. patinamento em solo firme.....	49
8. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável potência vs. patinamento em solo firme.....	50
9. Equações de regressão para a variável potên- cia vs. patinamento em solo mobilizado.....	51
10. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável potên- cia vs. patinamento em solo mobilizado.....	51
11. Equações de regressão para a variável velo- cidade vs. patinamento em solo firme.....	53
12. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável velocidade vs. patinamento em solo firme.....	53
13. Equações de regressão para a variável velo- cidade vs. patinamento em solo mobilizado..	53
14. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável veloci- dade vs. patinamento em solo mobilizado.....	54

LISTA DE TABELAS

vii

Tabela

15. Comparação entre força, potência e velocidade dos tratores 4x2 e 4x2 auxiliar em solo firme.....56
16. Comparação entre força, potência e velocidade dos tratores 4x2 e 4x2 auxiliar em solo mobilizado.....58
17. Equações para razão dinâmica de tração ajustadas segundo o modelo de WISMER & LUTH....59
18. Valores dos parâmetros do modelo e respectivos intervalos de confiança.....60
19. Índice de mobilidade para os modelos de WISMER & LUTH, GEE-CLOUGH et alii e BRIXIUS nas duas condições de solo, para os dois tratores.....64

LISTA DE FÍGURAS

viii

Figura

1. Resumo das condições de ensaio.....39
2. Curvas de força de tração em função do patinamento para as marchas 1L e 3L em solo firme.....47
3. Curvas de força de tração em função do patinamento para as marchas 1L e 3L em solo mobilizado.....49
4. Curvas de potência na barra de tração em função do patinamento para as marchas 1L e 3L em solo firme.....50
5. Curvas de potência na barra de tração em função do patinamento para as marchas 1L e 3L em solo mobilizado.....52
6. Curvas de velocidade de deslocamento em função do patinamento nas marchas 1L e 3L em solo firme.....54
7. Curvas de velocidade de deslocamento em função do patinamento nas marchas 1L e 3L em solo mobilizado.....55
8. Curvas da razão dinâmica de tração em função do patinamento para os tratores 4x2 e 4x2 auxiliar nas duas condições de solo....61
9. Variação da carga dinâmica aplicada sobre os eixos do trator 4x2.....62
10. Variação da carga dinâmica aplicada sobre os eixos do trator 4x2 auxiliar.....63
11. Comparação das curvas obtidas através dos métodos empíricos com a curva ajustada para a variável RDT para o trator 4x2 convencional em solo firme.....65

LISTA DE FIGURAS

ix

Figura

12. Comparação das curvas obtidas através dos métodos empíricos com a curva ajustada para a variável RDT para o trator 4x2 convencional em solo mobilizado.....67
13. Comparação das curvas obtidas através dos métodos empíricos com a curva ajustada para a variável RDT para o trator 4x2 auxiliar em solo firme.....68
14. Comparação do modelo de GEE-CLOUGH et alii aplicado ao eixo dianteiro e traseiro do trator 4x2 auxiliar em solo firme.....69
15. Comparação das curvas obtidas através dos métodos empíricos com a curva ajustada para a variável RDT para o trator 4x2 auxiliar em solo mobilizado.....70
16. Comparação do modelo de WISMER & LUTH aplicado ao eixo dianteiro e traseiro do trator 4x2 auxiliar em solo mobilizado.....71
17. Curva de eficiência tratoria para as rodas do trator 4x2 e 4x2 auxiliar.....74
18. Curva de eficiência tratória para as rodas do eixo dianteiro e traseiro do trator 4x2 auxiliar.....75
19. Esquema de um pneu conforme proposto por BRIXIUS (1987).....85

LISTA DE SÍMBOLOS

x

Símbolo

- AHP : Potência no eixo;
- AP4 : Potência no eixo do trator com tração 4x2 auxiliar ou 4x4;
- AP2 : Potência no eixo do trator com tração 4x2;
- Bn : Coeficiente de mobilidade proposto por Brixius;
- BD : Densidade global do solo;
- B : Coordenada horizontal do ponto de aplicação das forças resultantes do implemento;
- b : Largura do pneu;
- be : Razão da largura equivalente do pneu;
- CN : Coeficiente de mobilidade proposto por Wismer & Luth;
- Ct : Coeficiente de tração. Este termo é equivalente ao termo P/W ;
- c : Comprimento da esteira;
- CL : Quantidade de argila na amostra de solo (% por peso);
- CV : Fator de conversão de lbf/pol² para kN/m²;
- CI_{zero} : Índice de cone na camada superficial do solo;
- CI₁₅ : Índice de cone à 15 cm de profundidade;
- CNd : Coeficiente de mobilidade para pneus duplos;
- CNR : Coeficiente de mobilidade do rodado traseiro;
- CNF : Coeficiente de mobilidade do rodado frontal;
- C_{RR} : Coeficiente de resistência ao rolamento.
Este termo é equivalente ao termo T_f/W ;
- Ct_{max.} : Coeficiente de tração máximo;
- DPB2 : Força de tração total no trator 4x2;
- DPB4 : Força de tração total no trator 4x4 ou 4x2 auxiliar;
- DH : Altura da barra de tração;
- DBHP : Potência na barra de tração;
- DWC : Coeficiente de transferência de peso dinâmico;
- d : Diâmetro do pneu;

LISTA DE SÍMBOLOS

xi

Símbolo

FWD : Carga dinâmica no eixo frontal;
FS : Patinamento das rodas dianteiras;
G : Gradiente de resistência à penetração;
GPF : Tração bruta do eixo dianteiro;
GPR : Tração bruta do eixo traseiro;
H : Coordenada vertical do ponto de aplicação das forças resultantes do implemento;
h : Altura da secção lateral do pneu;
IC : Índice de cone médio na camada de 0 à 15 cm;
ICf : Índice de cone após a passagem das rodas do trator pela área;
ICi : Índice de cone antes da passagem das rodas do trator pela área;
k : Constante de resiliência do pneu;
K : Taxa de crescimento do coeficiente de tração em função do patinamento;
l : Dimensão linear significativa do pneu (diâmetro);
L : Largura da esteira;
LR : Raio do pneu com carga;
MC : Teor de umidade da amostra de solo (% por peso);
MP : Potência perdida para vencer a resistência ao rolamento;
M : Coeficiente de mobilidade proposto por GEE-CLOUGH;
NC : Número de pulsos gerados pelo contador para uma roda exercendo força de tração;
NS : Número de pulsos gerados pelo contador para uma roda que não exerce força de tração;
N_c : Número de mobilidade para solos argilosos;
N_a : Número de mobilidade para solos arenosos;
P : Força de tração na barra;
P₁ : Potência transmitida pelo rodado;

LISTA DE SÍMBOLOS

xii

Símbolo

- P2 : Potência máxima passível de ser transmitida pelo rodado;
- P/W : Razão dinâmica de tração;
- p : Tensão exercida pela roda (W/bd);
- Pot/Wot : Relação ótima entre força e carga que produz força de tração máxima;
- Q : Torque na roda;
- Q/W.r : Razão de torque;
- R : Razão de carga dinâmica eixo traseiro-carga total;
- RS : Patinamento das rodas traseiras;
- RMS : Erro do quadrado médio;
- RWS : Carga estática no eixo traseiro;
- RWD : Carga dinâmica no eixo traseiro;
- RCI : Índice de cone remodelado;
- RI : Índice de cone determinado em uma amostra padrão de solo;
- r : raio efetivo do pneu com carga em uma superfície rígida;
- SI : Quantidade de silte na amostra de solo (% por peso);
- S : Patinamento;
- SP : Potência perdida no patinamento;
- SO : Velocidade do trator sem carga na barra de tração;
- TQ : Quociente de tração definido por REYES (1982);
- TB : Tração bruta;
- TTE2 : Eficiência tratória para tratores 4x2;
- TTE4 : Eficiência tratória para tratores 4x2 auxiliar e 4x4;
- Tff : Força de resistência ao rolamento no eixo frontal;
- TE : Eficiência tratória;
- Tf/W : Coeficiente adimensional de resistência ao rolamento;
- t : Tensão de suporte do solo;
- UR : Raio do pneu sem carga;

LISTA DE SÍMBOLOS

xiii

Símbolo

- Va : Velocidade real de deslocamento do trator;
Vt : Velocidade teórica de deslocamento do trator;
Z : Coeficiente adimensional de afundamento do pneu;
W : Carga dinâmica aplicada no pneu;
We : Carga dinâmica aplicada na esteira;
Wmax : Carga máxima no centro de pressão da esteira;
WB : Distância entre eixos;
 δ : Deflexão do pneu;
 θ : Ângulo de tração com a horizontal;

ANÁLISE DO DESEMPENHO DE TRATORES, COM TRAÇÃO 4x2 E 4x2 AUXILIAR EM CONDIÇÃO DE CAMPO

Autor : MOACYR MACHADO CARDOSO JUNIOR

Orientador : LUIZ ANTONIO BALASTREIRE

RESUMO

Foram ensaiados dois tratores de mesma potência, um com tração convencional e o outro com tração dianteira auxiliar sobre duas condições de solo : firme (sem mobilização) e mobilizado (gradeado). Os tratores foram comparados através das variáveis força de tração e potência na barra, velocidade e razão dinâmica de tração em duas marchas (1L e 3L) com o objetivo de detectar as diferenças dos dois modelos.

Foram levantados também dados de índice de cone para testar três modelos empíricos de simulação e verificar qual dos três representa melhor a razão dinâmica de tração nas condições do ensaio.

A comparação dos tratores demonstrou que o trator 4x2 auxiliar foi superior em termos de força de tração na barra nas duas marchas adotadas e apresentou também valores de potência na barra de tração maiores, exceto para a marcha 3L em solo firme, onde a velocidade de deslocamento prejudicou o desempenho.

A análise da razão dinâmica de tração mostrou que o trator 4x2 apresentou valores superiores aos do 4x2 auxiliar em solo firme e valores próximos em solo mobilizado. A comparação da distribuição de pesos nas condições estática e dinâmica com os dados da literatura revelou ineficiência da tração dianteira, devido a falta de peso sobre o eixo dianteiro.

Os modelos de simulação utilizados apresentaram um erro do quadrado médio sempre inferior a

13%, o que está dentro dos limites citados na literatura. O modelo de WISMER & LUTH (1972), foi o que apresentou o melhor desempenho, com um erro máximo de 6,22%.

PERFORMANCE ANALYSIS OF REAR AND FRONT-WHEEL ASSIST DRIVE TRACTORS ON FIELD CONDITION

Author : MOACYR MACHADO CARDOSO JUNIOR

Adviser : LUIZ ANTONIO BALASTREIRE

SUMMARY

Two tractors of equal power were tested, one a rear wheel drive and the other a front wheel assist tractor in two soil conditions : untilled and disked. The comparisons between the two test tractors were made by the variables drawbar pull and power, velocity and dynamic traction ratio within two gears (1L and 3L). The main objective was to detect the differences between the tractor models.

Data from cone index were collected in order to evaluate three empiric simulation models and to verify which one is the best in representing the dynamic traction ratio within the soil condition of this test.

The comparison of the two tractors revealed that the front wheel assist presented greater values of drawbar pull within the two gear and greater values of drawbar power, except in the 3L gear, in which the velocity had a negative effect on drawbar performance.

The dynamic traction ratio analysis showed that rear wheel drive tractor was superior on untilled soil and was very close on disked soil. The comparison of static and dynamic weight distribution with literature review showed that the front axle is ineffective due to lacking of weight on it.

The empiric simulation models tested presented a root mean square less than 13% in all cases, which was expected. The WISMER & LUTH (1972) model, was the best, with a maximum error of 6,22%.

1. INTRODUÇÃO

As inovações tecnológicas devem proporcionar sempre uma relação custo-benefício favorável, e ter seu campo de atuação bem delimitado, para que se possa julgar a oportunidade de uso dessas tecnologias.

No caso de tratores agrícolas, uma das inovações que têm sido largamente empregada é a utilização de tratores com tração auxiliar dianteira, com o intuito de otimizar a fonte de potência. No entanto não são raras as ocasiões onde a superioridade deste modelo não é tão nítida, ocasionando o uso indevido dos tratores e aumentando o custo final da operação agrícola.

Este trabalho tem por objetivo verificar o desempenho comparado de dois tratores, um com tração 4x2 convencional, e o outro com tração auxiliar dianteira, com base nas variáveis força de tração na barra, potência na barra, velocidade e razão dinâmica de tração em duas marchas e nas condições de solo firme e mobilizado, com a finalidade de detectar as vantagens do modelo com tração dianteira auxiliar e em qual situação de solo estas ocorrem.

Outro objetivo a ser alcançado por este trabalho é a comparação de três modelos empíricos de simulação do desempenho (razão dinâmica de tração), com o intuito de identificar o modelo mais confiável para auxiliar na escolha de um ou outro modelo de trator no futuro, através de simulação do desempenho em diferentes condições de solo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Simulação do Comportamento

ZOZ (1972), descreve a utilização de um modelo para prever o desempenho de tração de um trator em várias condições de campo. Baseado nas características dos pneus é possível, estabelecer a força de tração, a potência na barra, a velocidade e o patinamento em várias condições de solo. Os parâmetros que o autor define como de fundamental importância são : razão dinâmica de tração (P/W), e a eficiência tratória dos pneus.

A razão dinâmica de tração é definida por:

$$\frac{P}{W} = \frac{P}{RWS + P \cdot \left(\frac{H}{WB} + \left(1 + \frac{B}{WB} \right) \right) \cdot \tan \theta}$$

onde :

P : força de tração;

RWS : carga estática no eixo traseiro;

B, H : coordenadas horizontal e vertical do ponto de aplicação das forças resultantes do implemento;

WB : distância entre eixos;

θ : ângulo de tração com a horizontal.

Considerando-se que a força de tração é paralela e horizontal à superfície considerada, ou seja,

a altura da barra de tração é igual a altura do ponto de aplicação da força, a equação se resume a :

$$\frac{P}{W} = \frac{1}{\frac{RWS}{P} + \frac{DH}{WB}}$$

onde :

DH : altura da barra de tração.

O autor afirma que a razão dinâmica de tração é função do patinamento, e que a sua magnitude depende da superfície do solo e de outras variáveis de menor importância, tais como : pressão de insuflagem, configuração, altura das garras, tamanho e área de contato do pneu com o solo.

A eficiência dos pneus é descrita da seguinte forma :

$$TE = \frac{DBHP}{AHP}$$

onde :

DBHP : potência na barra de tração;

AHP : potência no eixo.

As variáveis que afetam a eficiência dos pneus são: patinamento, torque no eixo, força de tração, carga no eixo frontal, carga no eixo traseiro, tamanho, pressão e número de pneus, e o solo.

Finalmente o autor deduziu a equação :

$$\frac{RWS.(SO)}{AHP.(375)} = \frac{TE}{(1 - \frac{S}{100})} \cdot \frac{1}{\frac{P}{W}} - DWC$$

onde :

SO : velocidade sem carga;

S : patinamento;

DWC : coeficiente de transferência de peso dinâmico

$$DWC = \left[\frac{H}{WB} + \left(1 + \frac{B}{WB}\right) \cdot \tan \theta \right]$$

Nesta equação, para um dado valor de RWS, SO, AHP e DWC, pode-se calcular o valor de patinamento, eficiência tratorial dos pneus e razão dinâmica de tração e com estes calcular a força de tração, potência na barra e velocidade.

TURNAGE (1972), descreve no seu trabalho alguns parâmetros adimensionais para caracterizar o desempenho de veículos "Off-Road". O autor trabalhando com análise dimensional mostra que o sistema pneu-solo pode ser descrito pelos termos adimensionais :

$$\frac{GL^3}{W}, \frac{b}{d}, \frac{\delta}{h}$$

para solos com alto índice de atrito interno e

$$\frac{ICl^2}{W}, \frac{b}{d}, \frac{\delta}{h}$$

para solos de alta coesão.

onde :

G : gradiente de resistência à penetração. (inclinação da curva profundidade vs. índice de cone;

IC : índice de cone médio na camada de 0 a 15 cm;

l : uma dimensão linear significativa do pneu (diâmetro);

W : carga dinâmica no pneu;

b : largura do pneu;

d : diâmetro do pneu;

δ : deflexão do pneu;

h : altura da seção lateral do pneu.

Estes termos foram variados durante os testes, nos quais o desempenho do pneu foi descrito pelos seguintes termos: coeficiente de resistência ao rolamento (T_f/W), razão dinâmica de tração (P/W), coeficiente de afundamento (z/d) e coeficiente de torque ($Q/W.r^4$). Os 3 últimos termos foram medidos a 20% de patinamento ou próximo a força de tração máxima.

A análise dos dados experimentais levou às seguintes equações :

$$N_s - G. (b.d)^{\frac{2}{3}} . \frac{\delta}{h}$$

para solos com alto atrito interno e

¹ r : raio efetivo para pneu com carga em uma superfície rígida.

$$N_c = \frac{IC \cdot b \cdot d}{w} \cdot \left(\frac{\delta}{h}\right)^{\frac{1}{2}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}}$$

para solos coesivos.

O autor sugere a utilização do índice de cone remodelado (RCI), ao invés do índice de cone, pois nos ensaios realizados este índice diminuiu as discrepâncias dos dados. O índice é calculado multiplicando-se o IC pelo RI, que é calculado a partir de uma amostra indeformada de solo, com aproximadamente 7 pol de altura e 1,9 pol de diâmetro. A amostra é submetida a 100 impactos de um martelo de 2,5 lb, caindo de uma altura de 12 pol. O RI é então calculado pela razão da soma do índice de cone obtido na camada de 1 a 4 pol após a compactação pela soma antes da compactação, expresso em decimal.

A relação ótima entre P_{ot}/W_{ot} , (carga ótima que produz tração máxima), para solos com alto atrito interno é de 0,166, isto é, para valores acima ou abaixo de 0,166 a força de tração diminui. A imobilização completa do veículo se dá quando a carga aplicada no rodado for 3,1 vezes maior do que a lastragem ótima. Para solos coesivos a relação P_{ot}/W_{ot} ótima está próxima de 0,455. Nota-se assim que os limites para desempenho em solos coesivos são maiores do que para solos com alto atrito interno.

Na equação para solos com alto atrito interno, os valores de b e d afetam da mesma maneira o desempenho, enquanto que para solos coesivos o diâmetro d afeta mais do que a largura b , devido ao fator:

$$\frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}}$$

Na primeira equação o valor de δ sobre h , tem o expoente 1, e isto significa que a deflexão do pneu é menos pronunciada do que b e d . No segundo termo da segunda equação, a influência deste termo é menor ainda, ou seja, dividindo-se o termo por 2 tem-se um decréscimo de apenas 30% no total e dobrando-se tem-se 1,4 vezes maior.

Assim fica claro, que a influência da deflexão no valor do termo de predição para solos coesivos é menos pronunciado do que para solos não coesivos. O autor conclui que os valores de b e d são os que mais influenciam o desempenho, mas tanto o aumento de b , como de d causam aumentos nos custos, enquanto que um aumento na deflexão não teria nenhum custo adicional. Portanto, afirma o autor, que em termos gerais deve-se projetar pneus com as maiores deflexões possíveis. Os termos de predição propostos pelo autor são de grande valia para o dimensionamento de pneus.

WIENDIECK & MELZER (1972), trabalhando com um modelo semi-empírico para predição da razão dinâmica de tração para veículos com pneus atestam que esta técnica é viável, uma vez que os modelos empíricos são muito generalizados e que os modelos analíticos, por sua complexidade, não tem tido sucesso. O principal resultado do trabalho foi a dedução de uma equação que previa a razão P/W com um grau razoável de aproximação (6%).

WISMER & LUTH (1972), desenvolveram uma série de equações de predição, que incluía relações de torque na roda, velocidade, força de tração e patinamento. As equações foram desenvolvidas utilizando a análise

Tabela 1. PARÂMETROS DO MODELO SOLO-RODADO

PARÂMETRO	SÍMBOLO	DIMENSÃO
SOLO		
ÍNDICE DE CONE	IC	FL-2
RODADO		
LARGURA DA SECÇÃO	b	L
DIÂMETRO	d	L
RAIO EFETIVO	r	L
SISTEMA		
CARGA	W	F
RES.ROLAM.	Tf	F
FORÇA DE TRAÇÃO	P	F
TORQUE	Q	FL
PATINAMENTO	S	---

dimensional. As variáveis do sistema estão na tabela 1.

Os autores, utilizando o teorema PI de BUCKINGHAM, desenvolveram sete razões adimensionais para escrever a equação de predição, que são demonstrados a seguir:

$$\frac{Tf}{W}, \frac{P}{W}, \frac{Q}{r.W} - f\left(\frac{IC.b.d}{W}, \frac{b}{d}, \frac{r}{d}, S\right)$$

Os valores de força de tração e torque na roda aumentam com o incremento do patinamento assintoticamente, assim a forma geral da equação é :

$$P, Q - f(1 - e^{-S})$$

A razão força de resistência ao rolamento/carga (Tf/W), decresce hiperbolicamente com o aumento dos valores da razão t/P , mas as razões Q/rW e P/W crescem assintoticamente, assim da mesma forma anterior:

$$\frac{P}{W} = \frac{Q}{r.W} - f(1 - e^{-\frac{t}{p}})$$

onde:

W : carga dinâmica na roda;

t : tensão de suporte do solo = Ic;

p : tensão exercida pela roda = W/bd;

Ic : índice de cone, (usado como medida da capacidade de suporte do solo).

Ao contrário de outros autores, estes consideraram uma única equação para representar ambos solos coesivos, como solos com alto atrito interno, pois segundo os mesmos o erro cometido por esta aproximação é igual ao erro cometido por uma equação específica para cada tipo de solo.

A força de resistência ao rolamento pode ser prevista pela equação :

$$Tf = W. \left(\frac{1,2}{CN} + 0,04 \right)$$

onde :

CN = Ic.b.d/W, coeficiente adimensional do rodado

Esta equação assume uma deflexão máxima do pneu com carga de 20%, e a relação b/d ≈ 0,3 e r/d ≈ 0,475. Assim para um valor muito alto de CN, a resistência ao rolamento seria aproximadamente 4% do peso total do trator.

A razão dinâmica de tração P/W, pode ser escrita da forma :

$$\frac{P}{W} = 0,75 \cdot (1 - e^{-0,3 \cdot CN \cdot s}) - \left(\frac{1,2}{CN} + 0,04 \right)$$

Desprezando as transformações de energia, o torque na roda, pode ser considerado igual à tração bruta :

$$\frac{Q}{r \cdot W} = 0,75 \cdot (1 - e^{-0,3 \cdot CN \cdot s})$$

sendo o patinamento calculado por : $S = (1 - V_a/V_t)$,

onde :

V_a : velocidade real;

V_t : velocidade teórica = $r \cdot w$ (raio x velocidade angular da roda)

A eficiência de tração é definida como :

$TE = \text{potência de saída} / \text{potência de entrada}$

mas potência de saída = $P \cdot V_a$, e potência de entrada = $Q \cdot w = Q(V_t/r)$. Após a substituição de V_a/V_t por $(1-S)$, e da divisão do numerador e do denominador por W , tem-se:

$$TE = \left[1 - \frac{\left(\frac{1,2}{CN} + 0,04 \right)}{0,75 \cdot (1 - e^{-0,3 \cdot CN \cdot s})} \right] \cdot (1-S)$$

Os autores citam ainda que este termo é equivalente ao proposto por ZOZ (1972), designado como eficiência dos pneus. A comparação deste modelo, com o proposto por TURNAGE (1972), mostra que ambos apresentam níveis aceitáveis quando comparados com os reais. As principais aplicações do modelo proposto pelos autores seriam : simulação do desempenho do veículo, durante o projeto do mesmo e na capacidade de desenvolver força de tração em diferentes situações de solo.

BURT et alli (1974), utilizando os princípios da similitude, desenvolveram equações de predição da razão dinâmica de tração e afundamento da roda. Os autores trabalharam com rodas rígidas de quatro tamanhos diferentes em 8 tipos de solo e concluíram que a técnica utilizada é viável, no entanto os parâmetros do solo não puderam ser calculados, devido à diferença pronunciada de comportamento das rodas grandes e pequenas, e também devido a não uniformidade do solo em profundidade, no canal de solo. Para a predição do afundamento, as conclusões são as mesmas, mas no entanto menos pronunciadas quanto às diferenças de tamanho das rodas.

TURNAGE (1975), descreve as equações para predição do desempenho de uma esteira em quatro níveis, que são : rebocada, autopropelida, 20% de patinamento e eficiência máxima de tração, utilizando cinco variáveis (força de tração, resistência ao rolamento, torque, afundamento e ângulo de corte).

Para este desenvolvimento o autor utilizou técnicas de análise dimensional e chegou a expressão:

$$G. (L.c)^{\frac{2}{3}} . \left(\frac{We}{W_{max}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

que é chamado de índice de mobilidade para esteira em solos arenosos.

onde : G : gradiente de resistência à penetração no solo;
 L : largura da esteira;
 c : comprimento da esteira;
 We : carga na esteira.

Para o desempenho em solos puramente argilosos o termo abaixo foi proposto, mas no entanto não haviam dados suficientes para confirmá-lo.

$$\frac{IC.b.d}{We} . \left(\frac{We}{W_{max}} \right)^{\frac{1}{2}}$$

onde :

Ic : índice de cone.

MACNAB et alli (1977), desenvolveram um modelo para prever o desempenho de tração, consumo de combustível e a combinação dos dois. Para o desempenho de tração, utilizaram o modelo de WISMER & LUTH (1972) e descreveram a eficiência de tração para tratores 4x2, como sendo :

$$TTE2 = [1 - [(\frac{1,2}{CNR} + 0,04) + \frac{FWD}{RWD} \cdot \frac{(\frac{1,2}{CNF} + 0,04)}{(0,75 \cdot (1 - e^{-0,3 \cdot CNR \cdot RS})}]] \cdot (1 - RS)$$

onde :

TTE2 : eficiência tratória para trator 4x2;

CNR, CNF : índice do rodado traseiro e dianteiro respectivamente;

FWD, RWD : carga dinâmica no eixo frontal e traseiro;

RS : patinamento das rodas traseiras.

e para quatro rodas : (4x2 auxiliar ou 4x4)

$$TTE4 = \frac{DPB4}{\frac{GPF}{(1-FS)} + \frac{GPR}{(1-RS)}}$$

onde :

TTE4 : eficiência tratória para tratores com tração nas quatro rodas;

DPB4 : força de tração total;

GPF : tração bruta do eixo dianteiro;

$$GPR=0,75 \cdot (1-e^{-0,3 \cdot CNF \cdot FS})$$

GPR : tração bruta do eixo traseiro;

$$GPR=0,75 \cdot (1-e^{-0,3 \cdot CNR \cdot RS})$$

FS : patinamento das rodas dianteiras.

Essas equações, no entanto, estão limitadas pelos seguintes fatores : as rodas do mesmo eixo devem ter patinamentos iguais, o índice de cone reflete totalmente a capacidade de suporte do solo, o peso do trator é distribuído igualmente nos dois lados, o trator opera em nível, a carga é aplicada na barra de tração e é horizontal e paralela a direção de deslocamento.

Os autores definem ainda a potência no eixo do trator 4x2 como :

$$AP2-(DPB2+Tff) \cdot \frac{V}{TTE2}$$

e para 4x4 :

$$AP4-DBP4 \cdot \frac{V}{TTE4}$$

onde :

Va : velocidade;

Tff : resistência ao rolamento frontal.

Para a simulação do consumo de combustível, os autores citam a equação desenvolvida por PERSSON (1969), que se baseia nos resultados de ensaio da Universidade de NEBRASKA, nos EUA. O modelo foi comparado com ensaios de campo, e chegou-se a conclusão de que o mesmo é viável e que a máxima economia de combustível se deu em níveis de patinamento, um pouco acima do ótimo para a eficiência de tração. Concluíram ainda que tanto o patinamento, como consumo diminuíram com o aumento da capacidade de suporte do solo, e finalmente que pneus

duplos tiveram melhores resultados em termos de consumo do que os simples.

VOORHEES & WALKER (1977), baseados na teoria de WISMER & LUTH (1972), deduziram uma equação para calcular a carga dinâmica que causa a maior força de tração, da forma :

$$\frac{\partial P}{\partial W} = 0,71 - ((0,225 \cdot CN \cdot s) + 0,75) \cdot e^{-0,3 \cdot CN \cdot s} - \left(\frac{2,4}{CN} \right)$$

sendo assim quando o valor de $\partial P / \partial W$ for igual à 0,075, a equação pode ser resolvida para W, obtendo-se assim a maior força de tração pela equação tradicional de WISMER & LUTH.

YONG et alli (1978), utilizaram o método dos elementos finitos, que no passado serviu como ferramenta para o estudo da interação solo-roda rígida, levando em conta a flexibilidade da carcassa do pneu. Os resultados analíticos estiveram muito próximos dos resultados experimentais. O método foi sensível também à pressão de insuflagem dos pneumáticos, ou seja, variações na pressão produziram diferentes perdas de energia.

BRIXIUS & WISMER (1978), no seu trabalho concluem que o patinamento é a variável mais importante no estudo do desempenho, tanto para pneus, como para esteiras. Os autores demostram ainda que o raio rolante pode ser estimado pela expressão :

$$r = 2,5 \cdot UR \cdot \frac{LR}{(1,5 \cdot UR) + LR}$$

onde :

UR : raio do pneu sem carga;

LR : raio do pneu com carga.

O erro cometido nesta medida não afeta a ET, nem a P/W, mas a razão Q/r.W e a resistência ao rolamento são afetados, pois o torque será subestimado

assim como a resistência ao rolamento, por outro lado o patinamento será superestimado. Assim o erro cometido na medida do raio impossibilita quantificar a energia perdida pelo patinamento e pela resistência ao rolamento, embora não afete a energia total perdida.

GEE-CLOUGH *et alli* (1978), desenvolveram uma série de equações de predição de performance de implementos acoplados à tratores.

As equações desenvolvidas para o desempenho dos tratores (pneus), foram baseadas em um estudo realizado pelo NIAE, com pneus variando de 12.4-36 à 18.4-38, com diversas pressões de insuflagem. O índice de mobilidade desenvolvido por TURNAGE (1972), foi analisado em conjunto com o coeficiente de resistência ao rolamento, coeficiente de tração máximo, e a constante K.

Os autores verificaram que o coeficiente de tração (C_t), tem a forma abaixo :

$$C_t = (C_t)_{\max} \cdot (1 - e^{-K \cdot S})$$

e as outras relações da forma :

$$(C_t)_{\max} = 0,796 - \frac{0,92}{M}$$

$$K(C_t)_{\max} = 4,838 + 0,061 \cdot M$$

$$C_{RR} = 0,049 + \frac{0,287}{M}$$

onde :

(Ct)max : coeficiente de tração máximo;

$$M = \frac{(IC \cdot b \cdot d)}{W} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}}$$

K(Ct)max : constante;

C_{RR} : coeficiente de resistência ao rolamento;

S : patinamento.

O valor da constante K é então calculado da seguinte forma :

$$K = \frac{K(Ct)_{max}}{(Ct)_{max}}$$

Essas relações empíricas são válidas para solos com restolhos, arados e cultivados, e não se aplicam a solos duros, secos ou solos que proporcionem altos patinamentos. A eficiência tratoria, desprezando a resistência ao rolamento frontal, é calculada por :

$$TE = \frac{\sum_{n=1}^2 \{(Ct)_{max}\} \cdot (1 - e^{-K \cdot n \cdot S})}{\sum_{n=1}^2 \{(Ct)_{max}\} \cdot (1 - e^{-K \cdot n \cdot S}) + \sum_{n=1}^2 C_{RR}} \cdot (1 - S)$$

Finalmente os autores concluem que as equações de predição são acuradas suficientemente para serem utilizadas em métodos computacionais, para o estudo geral das relações trator-implemento.

GEE-CLOUGH (1980), no seu trabalho mostra as variáveis que devem ser levadas em conta, quando da escolha de pneumáticos para veículos agrícolas. Tanto

projetistas como usuários podem calcular com boa precisão o desempenho de um determinado pneu, utilizando as equações clássicas desenvolvidas por GEE-CLOUGH et alii (1978). O autor demonstra por exemplo que um aumento no valor da deflexão provoca um aumento inexpressivo no coeficiente de tração, além do que pode comprometer a vida útil do pneu. Um outro caso abordado pelo autor mostra que diâmetros maiores tem efeito melhor do que pneus mais largos, porém esta generalização esta diretamente ligada à capacidade de suporte do solo.

HAYES & LIGON (1981), no seu trabalho, procuraram utilizar as propriedades físicas do solo para estimar o índice de cone e consequentemente estimar o desempenho do trator com as equações de WISMER & LUTH. As equações que melhor estimaram o índice de cone à zero e 15 cm, foram :

$$CI_{zero} = (-5,98 + 12,39 \cdot BD + 0,294 \cdot MC) \cdot CV$$

$$CI_{15} = -262,86 - 604,96 \cdot \left(\frac{BD}{SI}\right) - 341,03 \cdot \left(\frac{BD}{CL}\right) + 352,82 \cdot BD \cdot CV$$

onde :

CIzero : índice de cone à 0 cm;

CI15 : índice de cone à 15 cm;

CV : fator de conversão de lbf/pol² para kN/m²;

BD : densidade global do solo;

SI : silte (% por peso);

CL : argila (% por peso);

MC : umidade (% por peso).

Finalmente estes concluem, que a utilização deste modelo para previsão do desempenho de tratores é vantajoso, pois segundo os mesmos a mensuração do índice de cone no campo é uma tarefa muito trabalhosa, uma vez que cada vez que o solo é mobilizado o valor do

índice é alterado. No entanto novas pesquisas serão necessárias para se estimar o índice de cone ao longo dos 15 cm de solo.

GEE-CLOUGH et alii (1982), utilizando o modelo desenvolvido por eles no passado, descreveram a otimização de lastragem, para atingir a eficiência máxima de tração, e demonstraram as equações e os efeitos do excesso e da falta de lastros sobre o rodado pela seguinte equação :

$$\frac{\left(\frac{W}{AHP}\right)}{\left(\frac{W}{AHP}\right)_{ot}} = \frac{(Ct)_{ot}}{Ct \cdot \frac{ET}{ET_{ot}}}$$

onde :

W : carga dinâmica sobre o rodado;

AHP : potência no eixo;

Ct, Ct_{ot} : coeficiente de tração e Ct ótimo;

ET, ET_{ot} : eficiência de tração e ET ótimo.

e concluíram que a lastragem variando de 70% do valor ótimo, até 140% não afeta o desempenho. Quando a carga no eixo é leve, ou seja, não permite que o trator atinja seu desempenho máximo, pode-se definir o número de lastragem, como sendo:

$$\frac{P1}{P2} = \left(\frac{W \cdot Vt}{AHP}\right) \cdot (Ct + C_{RR})$$

onde :

P1, P2 : potência transmitida pelo rodado e potência máxima passível de ser transmitida respectivamente;

(W.Vt/AHP) : número de lastragem;

Ct : coeficiente de tração;

C_{RR} : coeficiente de resistência ao rolamento;

Vt : velocidade sem patinamento.

Assim foram definidas o mínimo número de lastragem em função do patinamento para que P1 seja igual a P2. Eles demonstraram que para um patinamento de 20% o número de lastragem mínimo deveria ser de 1,58, assim a lastragem pode ser calculada pela expressão:

$$\frac{W}{AHP} = \frac{1,26}{Va}$$

onde :

Va : velocidade em m/s;

AHP : potência no eixo.

que corresponde a 70% do ótimo. Quando, no entanto o número mínimo não é atingido a potência de saída é limitada pelo coeficiente de saída [Ct(1-S)]. Finalmente concluem que o modelo é ideal para otimizar a lastragem em solos com características intermediárias entre solos coesivos e solos com alto atrito interno das partículas.

REYES (1982) propôs no seu trabalho o quociente de tração (TQ), que é definido pela equação:

$$TQ = e^{(-k \cdot \frac{b \cdot d}{W} \cdot s)}$$

que fornece uma idéia da resposta de tração relacionada com a máxima razão dinâmica de tração prevista pela simulação.

TAYLOR et alli (1982), em um estudo do comportamento de um pneu em solo mobilizado, em um canal de solo, após várias passagens sobre a mesma trilha, concluíram que: a tração líquida e a eficiência tratoria foram significativamente menores para a primeira passagem, do que para as subseqüentes (quatro no total); 3/4 da mudança na densidade global são devidas à primeira passagem; e praticamente 90% do afundamento causado nas quatro passadas foi devido também à primeira passada.

DWYER (1983), concluiu no seu trabalho que para otimizar o desempenho da carga aplicada nos rodados, esta deveria ser coerente com a potência e a velocidade, da forma:

$$\frac{DBHP}{W} = \frac{Va}{1,75}$$

onde :

DBHP : potência na barra;

W : carga dinâmica no eixo;

Va : velocidade.

McALLISTER (1983), estudando os fatores que diminuem a resistência ao rolamento de pneus de máquinas agrícolas, concluiu que este diminui quando: há o decréscimo da pressão de insuflagem dos mesmos, quando a carga é reduzida ou quando são aumentados o diâmetro e a largura do pneu, a utilização de pneus radiais, o aumento da razão altura-largura. Ele concluiu ainda que o índice de mobilidade definido por TURNAGE (1972), preve o coeficiente de resistência ao rolamento e que o consumo de potência das máquinas pode ser diminuído se forem utilizados pneus largos ou radiais. O número de mobilidade pode ser utilizado para o cálculo da resistência ao rolamento pelas expressões :

$$C_{RR} = \left(\frac{0,323}{M+0,054} \right)$$

para pneus diagonais e

$$C_{RR} = \left(\frac{0,321}{M+0,037} \right)$$

para pneus radiais.

DWYER & HEIGHO (1984), em um estudo comparativo de pneus largos e duplos, concluíram que as equações de predição desenvolvidas por GEE-CLOUGH *et alli* (1978), não previam adequadamente o efeito da razão largura/diâmetro, para pneus excessivamente largos, embora o método funcionasse para pneus de tamanhos convencionais e duplos.

GARBER (1985), desenvolveu uma equação para prever a eficiência tratória de um trator de esteiras, semelhante ao de WISMER & LUTH, e concluíram que : a eficiência de tração tem um máximo definido por um valor de patinamento, e que está abaixo dos valores citados na literatura para pneus, e que a força de tração máxima não pode ser atingida no mesmo nível de patinamento da eficiência máxima de tração.

BURT & LYNE (1985), testaram o efeito da velocidade no desempenho do trator e concluíram que para as velocidades de 0,2 a 0,6 m/s, não houve diferença, nem em eficiência tratória, nem na tração líquida, com um nível de patinamento constante.

PLACKETT (1985), na sua revisão dos métodos de predição de desempenho de veículos fora-de-estrada, afirma que os modelos matemáticos de resistência ao rolamento e força de tração tem contribuído muito pouco para o entendimento da mecânica do sistema solo-veículo, embora alguns modelos possam ser aplicados com grande facilidade. Os trabalhos baseados em modelos semi-empíricos falham pela complexidade da aquisição dos dados, e pelo fato de não utilizarem os parâmetros clássicos da mecânica de solo. Os métodos de mobilidade (empíricos), são extremamente fáceis de utilizar, pois baseiam-se

apenas na medida do índice de cone, mas a precisão obtida com estes métodos esta limitada a 15%, além do que não podem ser extrapolados para condições, ou dispositivos de tração diferentes daqueles para os quais foram definidos. O autor ainda comenta que a diferença fundamental entre os modelos de WISMER & LUTH e GEE-CLOUGH et alli e DWYER et alli, é que os primeiros usam a aproximação clássica para prever a força de tração desenvolvida por uma roda, onde eles subtraem a resistência ao rolamento da tração bruta, enquanto que GEE-CLOUGH et alli e DWYER et alli, previam a tração líquida diretamente a partir do índice de mobilidade.

ALCOCK (1986), mostra a dedução das equações para calculo da eficiência tratoria, para veículos de tração em duas rodas e quatro rodas, baseado na teoria de WISMER & LUTH. Assim para tratores 4x2 a equação é expressa por:

$$TTE2 = \frac{[1 - (\frac{1,2}{CNR} + 0,04) + (\frac{1}{R-1}) \cdot (\frac{1,2}{CNF} + 0,04)] \cdot (1-RS)}{0,75 \cdot (1 - e^{-0,3 \cdot CNR \cdot RS})}$$

onde :

CNF, CNR : CN frontal e traseiro respectivamente;

R : razão de carga dinâmica no eixo traseiro/carga total.

RS : patinamento do eixo traseiro.

para tratores com tração nas quatro rodas :

$$TTE4 = \frac{DBP4}{\frac{GPF}{(1-FS)} + \frac{GPR}{(1-RS)}}$$

onde :

GPR : força tração traseira;

GPF : força tração dianteira.

DBP4 : potência na barra de tração;

FS,RS : patinamento nos eixos dianteiro e traseiro respectivamente.

LEVITICUS & REYES (1983), demonstraram a equação geral da razão dinâmica de tração para pistas de concreto, pela seguinte forma:

$$\frac{P}{W} = (Ct)_{\max} \cdot (1 - e^{-k \cdot (\frac{b \cdot d}{W}) \cdot g})$$

onde :

K : constante relativa a resiliência do pneu (kN/m²); para pneu em solo agrícola o K pode ser substituído pelo índice de cone.

BRIXIUS (1987), revisando o modelo proposto por WISMER & LUTH (1972), e analisando dados mais recentes de ensaios de tratores e pneus realizados na "JOHN DEERE CO", "USAE-WES", "National Institute of Agricultural Engineering" e pela "U.S. Army Tank Command", concluiu que o parâmetro adimensional proposto pelos autores citados acima, não levava em consideração a deflexão do pneu, bem como as dimensões do mesmo, desta forma o autor propõe o índice de mobilidade (Bn) como a seguir :

$$Bn = \frac{IC.b.d}{w} \cdot \frac{(1+5 \cdot \frac{\delta}{h})}{(1+3 \cdot \frac{b}{d})}$$

A razão adimensional de torque (Q/rW), também foi recalculada assim :

$$\frac{Q}{r.W} = 0,88 \cdot (1 - e^{-0,1 \cdot Bn}) \cdot (1 - e^{-7,5 \cdot S}) + 0,04$$

sendo o significado de cada termo discutido a seguir.

A constante 0,88 limita a máxima razão de torque desenvolvida por um pneu no solo à 0,92 ($0,88 + 0,04$).

O índice de mobilidade ($e^{-0,1 \cdot Bn}$) controla o máximo valor da razão de torque, o qual é obtido com alto patinamento. O índice de mobilidade cresce e também a razão de torque quando a resistência do solo aumenta, o diâmetro ou secção do pneu aumentam, a carga diminui, a deflexão aumenta e a relação b/d diminui.

A constante 7,5 pode ser chamada de fator de superfície, controla a taxa com que o torque cresce em função do patinamento.

A constante 0,04 aproxima a razão de torque na condição de patinamento zero. Nas superfícies duras o patinamento zero é caracterizado quando a roda está na situação autopropelida, sendo o torque necessário apenas para vencer a resistência devido à flexão e raspagem do pneu sobre a superfície.

A razão entre resistência ao rolamento e carga dinâmica sobre a roda foi redefinida pelo termo a seguir.

$$\frac{Tf}{W} = \frac{1,0}{Bn} + 0,04 + 0,5 \cdot \frac{s}{\sqrt{Bn}}$$

A resistência ao rolamento ou força de rebocamento de uma roda pode ser calculada, levando-se o patinamento para zero, sendo que o erro cometido por esta aproximação é pequeno, pois o patinamento de uma roda não motriz está próximo de $\pm 2\%$ em relação a zero.

O significado de cada termo é descrito a seguir.

A resistência ao rolamento Tf/W é causada por vários fatores: flexão do pneu, raspagem do mesmo contra a superfície, compactação do solo, carregamento do solo para as laterais da roda e resistência lateral causada pela aderência do solo e viscosidade.

Na relação $1,0/Bn$, quando Bn decresce, a resistência ao rolamento cresce devido ao aumento na compactação do solo e afundamento. A resistência ao rolamento diminui à medida que a razão de deflexão aumenta. Para valores altos de deflexão a área de contato é maior, pressão menor, e portanto menor compactação e resistência ao rolamento.

A resistência ao rolamento é igual a 0,04 em uma superfície rígida e representa o menor valor para qualquer superfície. Este termo se deve à flexão do pneu e raspagem do mesmo contra a superfície.

A resistência ao rolamento cresce com o patinamento devido ao aumento no afundamento do pneu e cisalhamento do solo.

A razão dinâmica de tração é tradicionalmente definida por :

$$\frac{P}{W} = \frac{Q}{r.W} - \frac{Tf}{W}$$

desta maneira a equação se resume a:

$$\frac{P}{W} = 0,88 \cdot (1 - e^{-0,1 \cdot Bn}) \cdot (1 - e^{-7,5 \cdot S}) - \left(\frac{1,0}{Bn} + 0,5 \cdot \frac{S}{\sqrt{Bn}} \right)$$

O modelo de WISMER & LUTH (1972), não previa também rodas trabalhando em série, como em um trator 4x4, assim o autor estimou o índice de cone sobre o qual a roda traseira desenvolverá tração da forma:

$$\frac{IC_f}{IC_i} = 1,0 + 1,8 \cdot e^{-0,11 \cdot Bn}$$

sendo IC_i , o índice de cone antes da passagem do trator e IC_f , o índice após a passagem do eixo dianteiro pela área.

Para tratores com rodas de tamanhos diferentes, o segundo termo da equação deve ser multiplicado pela raiz quadrada da razão entre larguras. O autor ressalta que o modelo não é adequado para pneus radiais, sendo que estudos nesta direção estão dependendo de um número grande de tratores ensaiados com este tipo de pneu.

O autor cita ainda algumas aplicações do modelo na simulação do desempenho de veículos agrícolas, tais como:

- Determinação da lastragem ótima para utilização pelo usuário;
- Comparar o desempenho de tratores 4x2, 4x2 auxiliar e 4x4 (informações de marketing);
- Comparar o desempenho de tratores 4x4 com tratores de esteira;

- Formular parâmetros para lastragem frontal e traseira, levando em consideração a transferência de peso, torque e pressão de insuflagem dos pneus;

- Otimizar o projeto de tratores 4x2 com tração dianteira auxiliar, incluindo os efeitos da distribuição de peso, relação de velocidade dianteira-traseira, níveis de patinamento ótimo e vantagens em relação à tratores 4x2 em várias condições de solo.

- Prever o desempenho de tração, afetado pelo peso, tamanho dos pneus e condições do solo;

- Estudar relações trator-implemento, levando em consideração velocidade vs. força de tração;

- Analisar efeitos das características de torque do motor e transmissão.

Zoz (1987), revisando seu trabalho de 1972, afirma que com a introdução de tratores 4x4 e 4x2 auxiliar, a análise gráfica se tornou impraticável, assim o autor propôs um programa desenvolvido para planilhas eletrônicas (LOTUS 123), com os dados mais recentes de previsão de tração desenvolvidos por Brixius. O programa conta ainda com um banco de dados de pneus, com as características de cada um, sendo informado ao usuário da viabilidade de utilização de um determinado pneu sob condições específicas de tração.

WITNEY (1988), discute a utilização do índice de mobilidade :

$$M = \frac{IC \cdot b \cdot d}{W} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}}$$

e afirma que : o primeiro termo da equação, chamado de índice do solo, reflete a capacidade de suporte do solo em função de uma carga aplicada sobre o mesmo; o segundo termo, índice de flexibilidade do pneu, expressa a relação deformação-altura da secção lateral do pneu, que está limitada a 20%, conforme proposto pelos fabricantes; o último termo, leva em consideração a geometria do pneu.

O autor mostra ainda a dedução da equação para calcular o patinamento, que proporcione a maior eficiência tratoria, da forma :

$$(1-s) \cdot \frac{\partial Ct}{\partial s} - (Ct \cdot \frac{(Ct+C_{RR})}{C_{RR}})$$

$$\frac{\partial Ct}{\partial s} - K(Ct)_{\max} \cdot (e^{-K \cdot s})$$

assim substituindo a segundo na primeira tem-se:

$$(1-s) K(Ct)_{\max} \cdot (e^{-K \cdot s}) - (Ct)_{\max} \cdot (1-e^{-K \cdot s}) \cdot \frac{(Ct)_{\max} \cdot (1-e^{-K \cdot s}) + C_{RR}}{C_{RR}}$$

onde :

$\partial Ct/\partial s$: derivada parcial do coeficiente de tração em relação ao patinamento. As demais relações foram definidas anteriormente no trabalho de GEE-CLOUGH et alli (1978).

WANG & DOMIER (1989), utilizaram o método proposto por WISMER & LUTH (1972), e o método proposto por BEKKER (1956,1960), para prever o desempenho de um trator com tração traseira e pneus duplos.

Os autores concluíram que ambos os métodos são viáveis para estudos de simulação (erro em torno de 10%), no entanto o modelo de WISMER deve ser preferido,

pois conta apenas com uma entrada no sistema, com relação às propriedades do solo (índice de cone). Os autores concluíram que para solos soltos com índice de cone inferior à 446 kPa, a metodologia clássica de considerar cada pneu isoladamente, com metade da carga dinâmica é confiável, já para solos firmes ($IC > 1113$ kPa), os autores estabeleceram que o cálculo seria feito considerando os dois pneus como um pneu só. Para pontos intermediários os autores propuseram a utilização da razão de largura equivalente (be), assim :

$$be = A_0 + A_1 \cdot IC$$

pode-se então calcular o número do rodado da seguinte forma :

$$CND = \frac{2 \cdot IC \cdot b \cdot d}{W}$$

para solos soltos ($IC < 446$ kPa),

$$CND = \frac{IC \cdot b \cdot d}{W}$$

para solos firmes ($IC > 1113$ kPa),

$$CND = IC \cdot b \cdot d \cdot \frac{(A_0 + A_1 \cdot IC)}{W}$$

para $446 \text{ kPa} < IC < 1113 \text{ kPa}$).

2.2. Comparação de Tratores 4x4, 4x2 e 4x2 com Tração Dianteira Auxiliar.

Diversos pesquisadores têm se preocupado com a comparação de tratores 4x2 e 4x4, e mais recentemente com os 4x2, com tração dianteira auxiliar.

DWYER & PEARSON (1976), estudando o comportamento de tratores 4x2, 4x4 e 4x2 auxiliar, concluíram que os tratores 4x4, produzem cerca de 14% a mais em termos de potência na barra quando comparado ao 4x2 de mesma potência. O trator 4x2 com tração auxiliar ficou no meio termo entre os dois, pois produziu em média 7% a mais de potência na barra. O trator 4x2 auxiliar produziu 17% a mais de força de tração na barra do que o modelo convencional, e o 4x4 33%.

Os autores trabalharam também com equações de predição, e chegaram a conclusão que para tratores 4x4, a previsão esteve de acordo com os dados experimentais. O coeficiente de tração e o patinamento na eficiência máxima para tratores 4x2, foram superiores aos valores previstos, provavelmente pela dificuldade que os autores encontraram em ajustar a velocidade e largura de corte do implemento para este trator.

RAGHAVAN & MCKYES (1979), estudando a performance de tração de pneus em solos arenosos, com diferentes níveis de umidade, concluíram que para obter força de tração elevada com baixos níveis de patinamento, seria necessário a utilização de rodados duplos, ou tração nas quatro rodas. Diâmetros de pneus maiores, também mostraram resultados. Os autores ressaltam ainda que a determinação dos parâmetros de solo (coesão, ângulo de atrito interno e textura), podem ser utilizados na interpretação de resultados de campo, bem como na predição.

CLARK (1984), comparou o desempenho de tratores 4x2 com tração auxiliar com o modelo convencional através dos parâmetros : força de tração máxima, potência máxima e velocidade à força de tração máxima em três solos, com diferentes teores de umidade. O resumo dos resultados se encontra na tabela 2 abaixo.

Tabela 2. Resultados da comparação entre tratores 4x2 e 4x2 com tração dianteira auxiliar.

SOLO	UMIDADE	FORÇA TRAÇÃO	VELOCIDADE	POTÊNCIA
SOLO1	14,25%	NS	66%	59%
SOLO2	6,78%	NS	58%	45%
SOLO3	9,82%	NS	106%	124%

NS: diferença não significativa.

WOERMAN & BASHFORD (1984), levantaram alguns parâmetros que definem o desempenho de tratores 4x2 com tração auxiliar dianteira, tais como : contribuição do eixo dianteiro na tração total, efeito de diferentes razões de velocidades entre os rodados dianteiro e traseiro, lastragem e a performance com a tração dianteira desligada. A análise dos resultados, demonstrou que a contribuição do eixo dianteiro aumenta quando: ocorre o aumento da razão de velocidades entre os rodados, o índice de cone é maior, patinamento menor, ou lastragem adicional no eixo dianteiro. A razão de velocidades variando de $1,01$ a $1,03$ esta mais próxima da eficiência de tração máxima e força de tração alta no eixo dianteiro, aliado a excelentes condições de manobrabilidade.

A eficiência tratória é maximizada quando a distribuição de pesos é de aproximadamente 36 a 38% da carga dinâmica no eixo frontal, tanto no solo, como no concreto. O trator operando com a tração auxiliar apre-

sentar de 3 a 5% a mais de eficiência, quando comparado ao modo desligado, considerando lastragem ótima para ambas as situações. Quando a lastragem ótima é obtida para o modo 4x2 ligado a diferença cresce para 7%.

RACKHAM & BLIGHT (1985), na sua revisão sobre tratores 4x4, concluem que estes apresentam as melhores eficiências de tração, maiores forças de tração e menores resistências ao rolamento, no geral. Se de um lado o diâmetro maior do pneu, proporciona um comprimento maior de contato, e conseqüentemente menor resistência, a largura maior causa o efeito oposto, e a predominância de um ou outro fator, depende do tipo de solo e do pneu. O trator 4x2, com tração auxiliar vem em segundo lugar, em desempenho, mas quando opera no modo desligado, isto é, tração dianteira desengatada, o desempenho cai pela metade. Assim concluem os autores que os tratores 4x4 e 4x2 auxiliar são superiores ao convencional 4x2, e que cada vez menos o custo inicial destes afetará no custo final.

BASHFORD et alii (1985), ensaiando um trator 4x2 com tração dianteira assistida, no modo ligado e desligado, concluíram que no modo ligado o patinamento e a resistência ao rolamento foram menores, enquanto que a força de tração foi maior. O autor determinou a potência no eixo através de transdutores acoplados à roda e estabeleceu as seguintes relações :

$$AHP = DBHP + SP + MP$$

onde :

AHP : potência no eixo;

DBHP : potência na barra de tração;

SP : potência perdida no patinamento;

MP : potência perdida para vencer a resistência ao rolamento.

a tração bruta (TB), foi calculada por :

$$TB = \frac{Q}{r}$$

onde :

Q : torque na roda;

r : raio da roda.

a força de tração necessária para vencer a resistência ao rolamento foi calculada pela diferença da tração bruta e da força exercida na barra. A potência (MP), foi então calculada, multiplicando-se este valor pela velocidade, e finalmente a potência devido ao patinamento foi calculada por diferença :

SP-AHP-DBHP-MP

O autor utilizou estas relações para comparar as perdas do patinamento e resistência ao rolamento para os dois modos de operação. Finalmente eles concluíram que o trator 4x2 auxiliar apresenta vantagens, quando comparado com o 4x2 simples, e a magnitude desta diferença se deve a distribuição de pesos e a superfície sobre a qual o teste é feito, ou seja, quanto pior for a condição do solo em termos de tração, maior será o diferencial entre os dois.

BASHFORD (1985), comparando tratores 4x2 auxiliar com seus similares convencionais, tirou as mesmas conclusões descritas anteriormente no trabalho de WOERMAN & BASHFORD, e acrescentaram que a distribuição estática de peso ideal é de 40 a 45% sobre o eixo frontal.

BASHFORD & BARGEN (1985), em um estudo econômico de tratores 4x2 com tração auxiliar, concluíram que a desvantagem econômica desse trator chega a U\$641,00/ano, quando o milho é vendido a U\$2,76/bushel,

e de U\$460,00 quando o preço do milho é de U\$3,76/bushel. Assim apesar de apresentar um desempenho melhor, principalmente em condições desfavoráveis de tração, este não se justifica economicamente. A recomendação final dos autores seria a utilização destes apenas em situações extremamente desfavoráveis.

BASHFORD et alli (1987), compararam a performance de um trator 4x2 com tração auxiliar, equipado com rodado duplo traseiro com o convencional, em quatro superfícies (concreto, solo arenoso gradeado, restolho de trigo gradeado e restolho de trigo arado), e afirmam que a utilização do rodado duplo no concreto, propiciou um aumento na razão dinâmica de tração, embora a eficiência máxima tenha sido obtida pelo rodado simples. Nas outras situações não houve diferença significativa, a não ser para patinamentos inferiores a 15%, para os quais o rodado duplo levou uma pequena vantagem. Finalmente os autores concluem que a utilização econômica de rodados duplos, só se justifica quando ocorrem problemas de flutuação da máquina, ou excesso de peso a ser transportado. Para ajustar as curvas P/W , ET , conforme proposto por WISMER & LUTH (1973), os autores utilizaram a técnica de regressão não linear de GAUSS-NEWTON, para calcular os coeficientes das expressões :

$$\frac{P}{W} = A \cdot (1 - e^{B \cdot S}) + C$$

$$\frac{TB}{W} = A \cdot (1 - e^{B \cdot S})$$

$$TE = (1 - S) \cdot \frac{1 - D}{(1 - e^{E \cdot S})}$$

onde :

S : patinamento;

A, B, C, D, E : coeficientes;

P/W : razão dinâmica de tração;

TB/W : razão tração bruta;

TE : eficiência tração

3. MATERIAL e MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. Tratores

Para o presente ensaio foram utilizados dois tratores da marca VALMET, modelos 885 4x2 e 885 4x2 com tração dianteira auxiliar¹ para ensaio e dois tratores marca VALMET, modelo 128 4x2 e 128 4x2 com tração dianteira auxiliar para frenagem (trator lastro). As características dos tratores ensaiados encontram-se no apêndice I.

3.1.1.1. Pneumáticos

Os tratores ensaiados estavam equipados com os seguintes pneumáticos :

4x2 - dianteiro : 7.50-18

- traseiro : 18.4-34

4x2 auxiliar - dianteiro : 14.9-24

- traseiro : 18.4-34

No apêndice II estão as características dos pneumáticos utilizados.

3.1.2. Campo de Ensaio

Os ensaios foram realizados na fazenda experimental do Centro Nacional de Engenharia Agrícola (CENEA-MARA), localizada no município de Iperó - SP.

A área experimental tinha aproximadamente 300 x 50 metros e relevo plano. O solo foi caracterizado como sendo de textura argilosa. No apêndice III estão as características físicas deste solo.

¹ Doravante designado por 4x2 auxiliar.

3.1.3. Equipamentos de Mensuração

Os equipamentos utilizados no presente trabalho foram :

- Célula de carga marca KYOWA com capacidade de 10 ton. e precisão de $\pm 5\%$ do fundo de escala;
- Sensores de rotação, com disco perfurado (15 furos) e sensores óticos;
- Painel de aquisição dos dados para força instantânea e integrada marca HOTTINGER BALDWIN MESSTHECKNICK (HBM), cronômetro e contadores de pulsos digital marca NEWPORT;
- Penetrógrafo de mola, marca EIJKELKAMP-GIESBEEK.

O sistema de aquisição, célula de carga e sensores de rotação foram montados da seguinte forma :

- Célula de carga : conectada na barra de tração do trator em ensaio e ligado ao outro trator (frenagem) através de cabos de aço;
- Sensores de rotação : conectados às rodas motoras através de cabos flexíveis;
- Painel de aquisição : montado sobre o trator em ensaio.

3.2. MÉTODOS

O presente trabalho dividiu-se em duas fases :

- Método de ensaio dos tratores no campo;
- Método de simulação da razão dinâmica de tração dos tratores.

3.2.1. Método de Ensaio

A metodologia de ensaio abrange a determinação da força de tração, velocidade, patinamento das rodas motoras, potência na barra e razão dinâmica de tração, para os dois tratores 4x2 e 4x2 auxiliar em duas condições de solo, e finalmente a comparação entre os dois modelos.

Os tratores lastrados foram ensaiados em solo firme (sem mobilização, com vegetação rasteira rala) e em solo mobilizado (solo gradeado).

Foram utilizadas para o ensaio 2 marchas: 1^a e 3^a

Pode-se resumir o delineamento dos ensaios na figura 1.

A área experimental foi demarcada por balizas duplas de 40 em 40 metros. Cada trecho de 40 metros foi denominado de unidade experimental, onde todos os dados foram coletados. Antes de cada unidade foi demarcada uma faixa de 10 metros para ajuste e estabilização da carga. A utilização de balizas duplas teve como objetivo facilitar a identificação do início e fim dos 40 metros.

O solo foi caracterizado pelo índice de cone médio na camada de 0-15 cm de solo, com 15 repetições na área experimental, sendo ainda medidos a umidade e a massa específica aparente do solo seco, com 5 repetições.

3.2.1.1. Mensuração da Força de Tração na Barra

A força de tração foi medida com a célula de carga, descrita anteriormente. A força instantânea era lida pelo sistema de aquisição e integrada no painel de instrumentos até o final dos 40 metros. Concomitantemente o sistema media o tempo gasto para percorrer os 40 metros. Assim a força média no percurso foi obtida pela equação a seguir:

² O critério de escolha das marchas foi o do patinamento na faixa de 0-40% para o trator 4x2 (convencional)

Figura 1. Resumo das condições de ensaio.

$$P = \frac{F_{total}}{Tempo} \dots\dots (kN)$$

Cada nível de força foi repetido 5 vezes (5 unidades experimentais).

3.2.1.1. Cálculo da Velocidade

A velocidade foi calculada dividindo-se o espaço de 40 metros, pelo tempo de percurso em segundos:

$$Va = \frac{40}{\text{tempo}} \cdot 3,6 \dots (km/h)$$

3.2.1.2. Cálculo do Patinamento

O patinamento foi calculado pela relação entre o número de pulsos gerados pela roda livre (trator sem carga) e o número de pulsos gerados pela roda com carga.

$$S = \frac{NC - NS}{NC} \cdot 100 \dots (\%)$$

onde:

NC : número de pulsos gerados pela roda motriz, com trator exercendo força na barra;

NS : número de pulsos gerados pela roda motriz, com trator rodando livre (sem carga na barra).

3.2.1.3. Cálculo da Potência na Barra (DBHP)

A potência na barra foi calculada pela equação:

$$DBHP = P \cdot Va \dots (kW)$$

3.2.1.4. Cálculo da Razão Dinâmica de Tração

A razão dinâmica de tração é definida pela relação entre força na barra e carga dinâmica sobre o rodado de tração.

onde:

$$W = RWS + \frac{DH}{WD} \cdot P \dots (kN)$$

considerando que a força é horizontal e paralela em relação ao nível do solo (ZOZ, 1972).

RWS : Carga estática sobre o rodado;

DH : Altura da barra de tração em relação ao solo;

WB : Distância entre eixos.

3.2.1.5. Análise Comparativa dos Modelos de Tratores.

Com os dados obtidos, procedeu-se a análise de regressão para as variáveis força de tração, potência na barra, velocidade e razão dinâmica de tração em função do patinamento, para as duas marchas consideradas e nas duas condições de solo. O patinamento foi escolhido como variável independente, pois a literatura cita a mesma como sendo a de maior importância no estudo do desempenho de veículos agrícolas. A comparação das curvas de regressão foram feitas através do método descrito por Neter & Wasserman (1974), no qual obtêm-se o modelo a seguir:

$$Y_{ij} = B_{0j} + B_{1j}X_{1j} + B_{2j}X_{1j}^2 + E_{ij}$$

onde: E_{ij} : segue uma distribuição normal;

$i = 1, \dots, N_j$; $j = 1, 2, 3$

Cada curva de regressão a ser comparada foi designada por:

$$E(Y_{1j}) = B_{01} + B_{11}X_{11} + B_{21}X_{11}^2$$

$$E(Y_{12}) = B_{02} + B_{12}X_{12} + B_{22}X_{12}^2$$

para cada modelo obteve-se a soma dos quadrados do erro ($SSE(F)$), sendo :

$$SSE(F) = SSE_1 + SSE_2$$

obteve-se então o modelo reduzido :

$$Y_{ij} = B_0 + B_1 X_{ij} + B_2 X_{ij}^2 + E_{ij}$$

onde se testou através do teste F as hipóteses:

$$C_1 = (B_{01} - B_{02}) \text{ e } (B_{11} - B_{12}) \text{ e } (B_{21} - B_{22})$$

$$C_2 = (B_{01} \neq B_{02}) \text{ ou } (B_{11} \neq B_{12}) \text{ ou } (B_{21} \neq B_{22}) \text{ ou } (\text{ambos})$$

O valor de F^* foi então calculado pela seguinte formula:

$$F^* = \frac{\frac{SSE(R) - SSE(F)}{2}}{\frac{SSE(F)}{n1+n2-ng1}}$$

Finalmente o valor de F^* é comparado da seguinte maneira:

$F^* \leq F(1 - \alpha ; 2 ; n1+n2-ng1)$: conclue C_1

$F^* \geq F(1 - \alpha ; 2 ; n1+n2-ng1)$: conclue C_2

Para a análise da razão dinâmica de tração (RDT) os dados foram ajustados segundo o modelo não linear proposto por WISMER & LUTH (1972), através do algoritmo de Marquardt, citado por DRAPER & SMITH (1966) como sendo o mais apropriado para este tipo de regressão³. Para a comparação das curvas utilizou-se o intervalo de confiança obtido a partir da estimativa dos parâmetros da equação.

³ As análises estatísticas foram realizadas com o auxílio do software STATGRAPH V2.1.

3.2.2. Método de Simulação da Razão Dinâmica de Tração.

A simulação da razão dinâmica de tração dos tratores ensaiados consistiu na utilização dos modelos empíricos propostos por WISMER & LUTH (1972), GEE-CLOUGH et alii (1978) e BRIXIUS (1987). Através destes modelos é possível estimar os valores de razão dinâmica de tração (RDT) e eficiência tratória que o trator pode desenvolver em uma determinada condição de solo (capacidade de suporte do solo, indicada pelo índice de cone), características dos pneumáticos e da distribuição de peso do trator.

Todos os modelos estão baseados no índice de mobilidade. A seguir apresenta-se o método de cálculo destes índices.

Índice de Wismer & Luth :

$$CN = \frac{IC \cdot b \cdot d}{W}$$

Índice de Gee-Clough et alii :

$$M = \frac{IC \cdot b \cdot d}{W} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}}$$

Índice de Brixius :

$$B_x = \frac{IC \cdot b \cdot d}{W} \cdot \frac{1 + 5 \cdot \frac{\delta}{h}}{1 + 3 \cdot \frac{b}{d}}$$

onde : IC : índice de cone médio na camada de 0-15 cm;

b, d, δ , h : conforme desenho no apêndice II;

W : carga dinâmica aplicada sobre a roda de tração.

A carga dinâmica (W) foi calculada com base na carga máxima no eixo obtida durante o ensaio. Para o trator convencional, 80,09% da carga estática total estava aplicada sobre o eixo traseiro em solo firme e 77,58% em solo mobilizado. Considerou-se que a carga aplicada no eixo traseiro era distribuída uniformemente entre as rodas. Estes valores estão bem próximos do valor máximo admissível de 80%, segundo recomendação ISO⁴. Para o trator com tração auxiliar dianteira a carga obtida foi de 76,01% da carga total do trator para solo firme e 74,71% para solo mobilizado. A mesma hipótese de que o peso era igualmente dividido entre as duas rodas foi adotada neste caso.

No caso do trator 4x2 auxiliar o índice de mobilidade foi calculado tanto para o rodado dianteiro como para o traseiro, sendo que no modelo de BRIXIUS, considerou-se que o índice de cone após a passagem do 1º eixo seria calculado pela equação:

$$\frac{IC_f}{IC_i} = 1,0 + 1,8 \cdot e^{-0,11 \cdot B_i}$$

⁴ ISO recommendation N° 942 - ISO/TC 22T, 166 E, Dezembro de 1965.

Os modelos foram testados através do RMS (raiz do quadrado médio), que é uma estimativa do erro global cometido pelo modelo. Cada modelo foi comparado com a equação de ajuste obtida através dos dados experimentais. O RMS foi calculado pela equação :

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum (Ajs_i - Mod_i)^2}{N}}$$

onde : Ajs_i : Valor de RDT no nível de patinamento i , para o ajuste dos dados experimentais;

Mod_i : Valor de RDT no nível de patinamento i , para o modelo considerado;

N : Número de níveis de patinamento considerados.

A comparação dos três modelos foi feita através do RMS, sendo que o melhor modelo foi aquele que apresentou o menor valor de RMS, ou seja, menor erro médio absoluto.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Resultados da comparação do trator 4x2 vs 4x2 auxiliar.

Os dados levantados no ensaio de campo encontram-se no apêndice 4.

4.1.1. Análise da força de tração na barra em solo firme.

Conforme descrito anteriormente os dados de força de tração vs. patinamento foram ajustados através de regressão polinomial. Os resultados completos destas regressões, inclusive com análise de variância encontram-se no apêndice 5. Na tabela 3 a seguir estão os valores dos coeficientes das regressões obtidos.

Tabela 3. Equações de regressão para a variável força vs. patinamento em solo firme.

TRATOR	MARCHA	EQUAÇÃO	R ²
4x2	1L	$5,130391+1,198329.S-0,018501.S^2$	0,9165
4x2	3L	$4,438105+1,516671.S-0,025318.S^2$	0,9297
4x2 AUX	1L	$2,444643+2,554918.S-0,050964.S^2$	0,9666
4x2 AUX	3L	$1,858229+3,103384.S-0,085989.S^2$	0,8368

Os resultados da comparação entre curvas de regressão estão na tabela 4.

Tabela 4. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável força vs. patinamento em solo firme.

TRATOR	MARCHA	F*	F(0,90)	F(0,95)
4x2	1L			
4x2 AUX	1L	47,3313	2,39	3,15
4x2	3L			
4x2 AUX	3L	14,3232	2,41	3,19

Figura 2. Curvas de força de tração em função do patinamento para as marchas 1L e 3L em solo firme.

A análise revelou que existe diferença entre as curvas de regressão para os dois tratores, nos níveis de significância testados, ou seja, o trator 4x2 auxiliar apresentou níveis de força de tração na barra superiores ao 4x2 convencional. Na figura 2 pode-se notar esta superioridade. Para o nível de 15% de patinamento¹ das rodas traseiras tem-se 29,30 kN para o 4x2 auxiliar e 18,94 kN para o 4x2 em 1L, ou seja, 35,36% superior. Para a marcha 3L obteve-se 21,49 kN e 29,06 kN (26,05%) respectivamente para os tratores 4x2 e 4x2 auxiliar.

¹ O patinamento referido nesta secção será sempre relativo ao eixo traseiro.

4.1.2. Análise da força de tração na barra em solo mobilizado.

Os resultados completos destas regressões encontram-se no apêndice 5. Na tabela 5 a seguir estão os valores dos coeficientes das regressões obtidos.

Tabela 5. Equações de regressão para a variável força vs. patinamento em solo mobilizado.

TRATOR	MARCHA	EQUAÇÃO	R ²
4X2	1L	$3,8498+0,73738.S-0,007645.S^2$	0,9276
4X2	3L	$2,031418+0,933763.S-0,012225.S^2$	0,9667
4X2 AUX	1L	$2,44422+1,592808.S-0,022734.S^2$	0,9640
4X2 AUX	3L	$1,26879+1,982713.S-0,041017.S^2$	0,9716

Os resultados da comparação entre curvas de regressão estão na tabela 6.

Tabela 6. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável força vs. patinamento em solo mobilizado.

TRATOR	MARCHA	F*	F(0,90)	F(0,95)
4x2	1L			
4X2 AUX	1L	85,4320	2,40	3,17
4x2	3L			
4X2 AUX	3L	238,4814	2,45	3,25

A análise revelou que existe diferença entre as curvas, ou seja, sobre o solo mobilizado o trator 4x2 auxiliar proporciona níveis maiores de força de tração na barra. Para o nível de 15% de patinamento tem-se 13,19 kN para o 4x2 e 21,22 kN para o 4x2 auxiliar em 1L, (37,85% superior), e para a marcha 3L obteve-se 13,29 kN e 21,78 kN (38,98%). Na figura 3 pode-se visualizar as diferenças.

Figura 3. Curvas de força de tração em função do patinamento nas marchas 1L e 3L em solo mobilizado.

4.1.3. Análise da potência na barra de tração em solo firme.

Os resultados completos destas regressões encontram-se no apêndice 5. Na tabela 7 a seguir estão os valores dos coeficientes das regressões obtidos.

Tabela 7. Equações de regressão para a variável potência vs. patinamento em solo firme.

TRATOR	MARCHA	EQUAÇÃO	R ²
4X2	1L	$4,989777+0,949659.S-0,019683.S^2$	0,8016
4X2	3L	$8,789714+2,347247.S-0,04951.S^2$	0,8280
4X2 AUX	1L	$1,03828+2,754303.S-0,068993.S^2$	0,9569
4X2 AUX	3L	$5,247021+5,448786.S-0,260914.S^2$	0,6728

Figura 4. Curvas de potência na barra de tração em função do patinamento nas marchas 1L e 3L em solo firme.

Os resultados da comparação entre curvas de regressão estão na tabela 8.

Tabela 8. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável potência vs. patinamento em solo firme.

TRATOR	MARCHA	F*	F(0,90)	F(0,95)
4x2	1L	64,7892	2,39	3,15
4x2	AUX			
4x2	3L	6,0748	2,41	3,19
4x2	AUX			

As curvas de potência na barra de tração, mostraram-se diferentes tanto na 1L como na 3L. A potência obtida à 15% de patinamento para a 1L foi de 14,81 kw e 26,83 kw para os tratores 4x2 e 4x2 auxiliar, revelando uma diferença de 44,80%. Para a 3L, no entanto, a potência obtida pelo 4x2 foi de 32,86 kw e para o auxiliar 28,27 kw, representando 13,97% a mais para o modelo convencional. Na figura 4 pode-se ver o comportamento dos dois tratores. Observa-se também que o modelo 4x2 auxiliar é superior ao 4x2 em 3L até 12-13% de patinamento, quando a superioridade se inverte.

4.1.4. Análise da potência na barra de tração em solo mobilizado.

Os resultados completos destas regressões encontram-se no apêndice 5. Na tabela 9 a seguir estão os valores dos coeficientes das regressões obtidos.

Tabela 9. Equações de regressão para a variável potência vs. patinamento em solo mobilizado.

TRATOR	MARCHA	EQUAÇÃO	R ²
4X2	1L	$3,951304 + 0,535092.S - 0,008115.S^2$	0,7685
4X2	3L	$4,899562 + 1,36656.S - 0,023693.S^2$	0,8977
4X2 AUX	1L	$3,304527 + 1,275196.S - 0,023673.S^2$	0,9097
4X2 AUX	3L	$2,051056 + 3,9616.S - 0,137705.S^2$	0,8946

Os resultados da comparação entre curvas de regressão estão na tabela 10.

Tabela 10. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável potência vs. patinamento em solo mobilizado.

TRATOR	MARCHA	F*	F(0,90)	F(0,95)
4x2	1L			
4x2 AUX	1L	63,9687	2,40	3,17
4x2	3L			
4x2 AUX	3L	59,8670	2,45	3,25

Figura 5. Curvas de potência na barra de tração em função do patinamento nas marchas 1L e 3L em solo mobilizado.

As curvas diferiram também no solo mobilizado nos dois níveis de significância testados. Na figura 5 pode-se visualizar o comportamento dos tratores. Para 15% de patinamento temos 10,15 kw para o 4x2 e 17,11 kw para o 4x2 auxiliar em 1L, (40,65% superior), e para a marcha 3L obteve-se 20,08 kw e 30,49 kw (34,14%).

4.1.5. Análise de velocidade de deslocamento dos tratores em solo firme.

Os resultados completos destas regressões encontram-se no apêndice 5. Na tabela 11 a seguir estão os valores dos coeficientes das regressões obtidos.

Os resultados da comparação entre curvas de regressão estão na tabela 12.

As curvas de regressão para ambas as marchas diferiram entre si. Na figura 6 pode-se notar o

Tabela 11. Equações de regressão para a variável 53
velocidade de deslocamento vs. patinamento em solo firme.

MARCHA	EQUAÇÃO	R ²
4X2	1L $3,360538-0,037725.S+0,000075.S^2$	0,9991
4X2	3L $6,557618-0,071326.S+6,066243.S^2$	0,9882
4X2 AUX	1L $3,282012+0,028086.S-0,001932.S^2$	0,7080
4X2 AUX	3L $7,055509-0,103147.S-0,009472.S^2$	0,7389

Tabela 12. Resultados do teste F para a comparação das
curvas de regressão da variável velocidade de desloca-
mento dos tratores em solo firme.

TRATOR	MARCHA	F*	F(0,90)	F(0,95)
4x2	1L			
AUX	1L	12,5804	2,39	3,15
4x2	3L			
AUX	3L	14,8016	2,41	3,19

comportamento de ambos tratores.

4.1.6. Análise de velocidade de deslocamento dos tratores em solo mobilizado.

Os resultados completos destas regressões, encontram-se no apêndice 5. Na tabela 13 a seguir estão os valores dos coeficientes das regressões obtidos.

Tabela 13. Equações de regressão para a variável veloci-
dade de deslocamento vs. patinamento em solo mobilizado.

TRATOR	MARCHA	EQUAÇÃO	R ²
4X2	1L	$3,33027-0,03333.S-7,10523 \times 10^{-4}.S^2$	0,9993
4X2	3L	$6,266618-0,075738.S+0,000154.S^2$	0,9987
4X2 AUX	1L	$3,55102-0,044351.S+0,00017.S^2$	0,9979
4X2 AUX	3L	$6,663207-0,000203.S-0,007072.S^2$	0,9815

Os resultados da comparação entre curvas de regressão estão na tabela 14.

As curvas de regressão diferiram entre si nos dois níveis de significância testados. Na figura 7 pode-se visualizar o comportamento da velocidade dos tratores em função do patinamento.

Os valores obtidos para força de tração na barra estão de acordo com os dados obtidos por DWYER &

Figura 6. Curvas de velocidade de deslocamento em função do patinamento nas marchas 1L e 3L em solo firme.

Tabela 14. Resultados do teste F para a comparação das curvas de regressão da variável velocidade de deslocamento vs patinamento em solo mobilizado.

TRATOR	MARCHA	F*	F(0,90)	F(0,95)
4x2	1L			
4x2	AUX	132,6944	2,40	3,17
4x2	3L			
4x2	AUX	15,1025	2,45	3,25

PEARSON (1976), RACKHAM & BLIGHT (1985), ou seja, o trator 4x2 auxiliar é superior em termos de força de tração. CLARK (1984), porém chegou a conclusão no seu ensaio que os tratores não apresentam diferenças significativas em termos de força de tração, mas sim em velocidade de deslocamento, a qual reflete na potência obtida. A variável potência esteve de acordo com DWYER & PEARSON

Figura 7. Curvas de velocidade de deslocamento em função do patinamento nas marchas 1L e 3L em solo mobilizado.

(1976), RACKHAM & BLIGHT (1985) e CLARK (1984), isto é foi superior para o trator 4x2 auxiliar, com exceção da 3L. Neste caso deve-se levar em consideração que o trator auxiliar foi superior até 12-13% de patinamento, e ainda que a velocidade a 15% de patinamento foi 38,43% maior para o 4x2, contrariando as conclusões de CLARK (1984). A velocidade superior obtida pelo trator 885 4x2 em 3L, pode ser explicada pelo fato de que o eixo dianteiro está desperdiçando potência, ou seja, a transferência de peso para o eixo traseiro diminui a contribuição do eixo frontal para o desempenho global do trator.

4.1.7. Resultados da comparação das variáveis força, potência e velocidade sobre solo firme.

Na tabela 15 pode-se ver os resultados da comparação entre força, potência e velocidade em três

condições: 15% de patinamento, força máxima e potência máxima. A condição de 15% de patinamento já foi demonstrada nos itens anteriores, exceto a velocidade, que será analisada em conjunto com força e potência.

Tabela 15. Comparação entre força, potência e velocidade dos tratores 4x2 e 4x2 auxiliar em solo firme.

Patinamento 15%

FORÇA (kN)				POTÊNCIA (kw)			
1L		3L		1L		3L	
4X2	AUX	4X2	AUX	4X2	AUX	4X2	AUX
18,9	29,3	21,5	29,1	14,8	26,8	32,9	28,3
35,36%		26,05%		44,80%		-13,97%	

VELOCIDADE (km/h)			
1L		3L	
4X2	AUX	4X2	AUX
2,8	3,3	5,5	3,4
14,07%		-38,43%	

FORÇA MÁXIMA (kN)			
1L		3L	
4X2	AUX	4X2	AUX
24,5	34,5	27,1	29,9
28,8%		9,07%	

POTÊNCIA MÁXIMA (kw)			
1L		3L	
4X2	AUX	4X2	AUX
16,4	28,5	36,6	33,6
42,38%		-8,11%	

A força máxima obtida pelo 4x2 auxiliar foi 28,82% maior em relação ao modelo convencional. Para a 3L a força máxima foi de apenas 9,07% superior para o 4x2 auxiliar. Estes dados coincidem com os obtidos por DWYER & PEARSON (1976), RACKHAM & BLIGHT (1984). A potência máxima obtida na 1L foi de 16,44 kw com 24% de patinamento e 28,53 kw com 20% para os tratores 4x2 e 4x2 auxiliar respectivamente (diferença de 42,38%). Na 3L a potência máxima foi de 36,61 e 33,64 kw, revelando uma

vantagem para o trator 4x2 de 8,11%. Este dado diverge dos encontrados pelos autores citados anteriormente.

Comparando a força de tração do 4x2 no nível de patinamento que proporciona força máxima ao 4x2 auxiliar tem-se que o trator 4x2 produziu 23,53 kN na 1L, enquanto o 4x2 auxiliar produziu 34,46 kN (31,72% maior). Na 3L a diferença foi de 21,17% (29,86 kN e 25,54 kN, respectivamente para o 4x2 auxiliar e 4x2). Para a potência máxima obtida pelo 4x2 auxiliar as diferenças foram de 43,53% e 18,82% respectivamente para 1L e 3L. A comparação inversa, ou seja, comparar força e potência no nível de patinamento correspondente à força máxima e potência máxima do 4x2 não foi possível, devido ao fato do trator 4x2 auxiliar não atingir os níveis de patinamento do modelo convencional.

4.1.8. Resultados da comparação das variáveis /força, potência e velocidade sobre solo mobilizado.

Na tabela 16 pode-se ver os resultados da comparação entre força, potência e velocidade em três condições: 15% de patinamento, força máxima e potência máxima. No nível de 15% de patinamento apenas a velocidade na 3L foi inferior para o 4x2 auxiliar em relação ao 4x2 (8,15%), mas esta diferença não foi suficiente para que a potência fosse superior.

A força máxima obtida na marcha 1L foi de 20,98 kN com 39% de patinamento e 30,34 kN com 35%, revelando uma superioridade de 30,85% para o 4x2 auxiliar. Para a 3L a força máxima foi de 19,86 kN com 38% de patinamento e 25,23 kN com 24% para os tratores 4x2 e 4x2 auxiliar respectivamente (diferença de 21,28%). Estes dados coincidem com os obtidos por DWYER & PEARSON (1976), RACKHAM & BLIGHT (1984). A potência máxima obtida na 1L foi de 22,06 kw com 39% de patinamento e 20,47 kw com 27% para os tratores 4x2 e 4x2 auxiliar respectivamente, revelando uma diferença de 7,21% favorável ao 4x2,

Tabela 16. Comparação entre força, potência e velocidade dos tratores 4x2 e 4x2 auxiliar em solo mobilizado.

Patinamento 15%

FORÇA (kN)				POTÊNCIA (kw)			
1L		3L		1L		3L	
4X2	AUX	4X2	AUX	4X2	AUX	4X2	AUX
13,2	21,2	13,3	21,8	10,1	17,1	20,1	30,5
37,85%		38,98%		40,65%		34,14%	

VELOCIDADE (km/h)			
1L		3L	
4X2	AUX	4X2	AUX
2,8	2,9	5,5	5,1
3,08%		-8,15%	

FORÇA MÁXIMA (kN)			
1L		3L	
4X2	AUX	4X2	AUX
21,0	30,3	19,9	25,2
30,08%		21,3%	

POTÊNCIA MÁXIMA (kw)			
1L		3L	
4X2	AUX	4X2	AUX
22,06	20,47	24,6	30,52
-7,21%		19,39%	

devido a maior velocidade alcançada por este. Para a 3L a potência máxima foi de 24,60 kw e 30,52 kw. Neste caso a vantagem foi do modelo 4x2 auxiliar (19,39%).

Comparando a força de tração do 4x2 no nível de patinamento que proporciona força máxima no 4x2 auxiliar tem-se que o trator 4x2 auxiliar foi 33,12% superior na 1L e 53,23% na 3L. Para a potência a diferença foi de 39,03% e 36,47% respectivamente para 1L e 3L. A comparação inversa, conforme descrita anteriormente não foi possível, devido ao fato do trator 4x2 auxiliar não atingir o nível de patinamento do 4x2.

4.1.9. Comparação do desempenho em solo firme e mobilizado.

A queda da força de tração para a marcha 1L do trator 4x2 é de 30,36% quando se passa do solo firme para o mobilizado, no nível de patinamento de 15%, e de 27,58% para o trator 4x2 auxiliar, o que mostra que não existe diferença acentuada no comportamento dos tratores nas duas condições de solo, o mesmo acontecendo para a potência, exceto na 3L, na qual a diferença para o 4x2 é maior (38,16% e 25,05%). Este fato é conflitante com as afirmações de BASHFORD et alii (1985), que diz que o diferencial entre os tratores é tanto maior quanto piores forem as situações da superfície do solo.

A força máxima de tração obtida nas duas condições também segue esta tendência, pois em 1L o 4x2 apresentou uma queda de 14,47% contra 11,96% do 4x2 auxiliar, e para a 3L 26,85% contra 15,51%.

A potência máxima em 1L sofreu uma queda semelhante 25,48% e 28,25% para o 4x2 e 4x2 auxiliar respectivamente. No entanto na 3L a diferença foi de 32,81% para o 4x2 e apenas 9,27% para o 4x2 auxiliar.

4.1.10. Análise da razão dinâmica de tração.

Os resultados completos das análises de regressão estão no apêndice 6. Na tabela 17 abaixo tem-se as equações.

Tabela 17. Equações para razão dinâmica de tração ajustadas segundo o modelo de WISMER & LUTH

TRATOR	CSOLO	EQUAÇÃO	R ²
4x2	FIRM	$0,66146 \cdot (1 - e^{-14,3207 \cdot s}) + 0,05202$	0,9496
4x2	MOBI	$0,58067 \cdot (1 - e^{-9,18371 \cdot s}) + 0,02516$	0,9703
AUX	FIRM	$0,68453 \cdot (1 - e^{-10,94152 \cdot s}) + 0,00207$	0,9272
AUX	MOBI	$0,61836 \cdot (1 - e^{-7,94190 \cdot s}) + 0,023466$	0,9703

Na figura 8 visualiza-se o comportamento dos tratores nas duas condições de solo. O trator 4x2 foi superior ao 4x2 auxiliar em todos os níveis de patinamento para a condição de solo firme. Para a condição de solo mobilizado a razão dinâmica de tração até 25% de patinamento foi superior para o 4x2, quando então o 4x2 auxiliar foi superior. Nas figuras 9 e 10 pode-se ver o comportamento da transferência de peso do eixo dianteiro para o traseiro em função do patinamento.

Na tabela 18, tem-se os intervalos de confiança dos parâmetros estimados (A, B e C) do modelo de WISMER & LUTH (1972), onde pode-se ver qual dos parâmetros causa a diferença.

Tabela 18. Valores dos parâmetros do modelo e respectivos intervalos de confiança (0,95)

TRATOR SOLO		A	B	C
4X2	FIRME	0,6615	14,3207	-0,0520
	A		B	C
		(0,7072; 0,6158)	(16,8731; 11,7684)	(0,0247; -0,1288)
AUX		A	B	C
	FIRME	0,6845	10,9415	0,0020
	A		B	C
		(0,7328; 0,6362)	(13,2422; 8,6409)	(0,0665; -0,0624)
4X2		A	B	C
	MOBI	0,5807	8,1837	-0,0252
	A		B	C
		(0,6112; 0,5502)	(9,2570; 7,1104)	(0,0338; -0,0841)
AUX		A	B	C
	MOBI	0,6184	7,9419	0,0235
	A		B	C
		(0,6435; 0,5932)	(9,0308; 6,8531)	(0,0696; -0,0227)

Figura 8. Curvas da razão dinâmica de tração em função do patinamento para os tratores 4x2 e 4x2 auxiliar nas duas condições de solo.

No solo firme, pode-se comparar os coeficientes estimados através do intervalo de confiança (95%). Os coeficientes A e C são mutuamente inclusivos, ou seja, ambos os coeficientes estão no intervalo de confiança do outro. O coeficiente B, no entanto, é mutuamente exclusivo no intervalo de 95%. Este fato explica o comportamento dos dois tratores na figura 8, pois o coeficiente B, determina a taxa de crescimento da RDT em função do patinamento. Para o solo mobilizado, a diferença entre as duas curvas é muito pequena, pois neste caso o coeficiente A é mutuamente inclusivo à 95%, sendo que este coeficiente determina o máximo valor de RDT que pode ser assumido. Neste caso a partir de 25% de patinamento o trator 4x2 auxiliar apresenta valores maiores de RDT. O coeficiente C do trator 4x2 não se enquadra no

Figura 9. Variação da carga dinâmica aplicada sobre os eixos do trator 4x2.

intervalo de confiança do 4x2 auxiliar, no entanto, o oposto é verdadeiro. Este coeficiente dá uma idéia da resistência ao rolamento.

O fato do trator 4x2 apresentar um desempenho superior em termos de RDT pode ser explicado pela distribuição de peso dos tratores, pois o modelo 4x2 auxiliar ensaiado tem 36,7% do peso estático no eixo dianteiro e 63,3% no traseiro. WOERMAN & BASHFORD (1984), afirmam que a distribuição ideal é de 36 a 38% do peso dinâmico no eixo dianteiro, o que mostra que há deficiência de peso, pois o trator em questão na condição inicial de patinamento tem praticamente a mesma carga da condição dinâmica ideal. BASHFORD et alii (1985), indica que o trator 4x2 auxiliar deve ter de 40 a 45% do peso estático no eixo dianteiro. Assim nota-se que o desempenho em termos de RDT é prejudicado pela falta de peso no eixo dianteiro. Este fato, provavelmente pode explicar também porque o trator 4x2 obteve valores maiores de potência na 3L em solo firme. Para o trator 4x2, quanto maior a carga

Figura 10. Variação da carga dinâmica aplicada sobre os eixos do trator 4x2 auxiliar.

no eixo traseiro, melhor será o seu desempenho, a norma ISO Nº 942 que estabelece um limite de 80% da carga estática no eixo traseiro, como fator de segurança do trator contra empinamento. No caso do trator ensaiado a distribuição estática era de 32,89% no eixo dianteiro e 67,11% no traseiro.

4.2. Resultados da simulação

A condição de solo firme foi caracterizada através do índice de cone, que resultou em um valor médio de 1395 kPa, com umidade média de 15,8% na camada de 0-5 cm e 18,9% na camada de 5-15 cm.

Com este valor de índice de cone obteve-se os índices de mobilidade para os dois tratores.

A condição de solo mobilizado apresentou um valor médio de índice de cone de 620 kPa, com umidade média de 14,8% para a camada de 0-5 cm e 21,0% para 5-15 cm. Na tabela 19 tem-se os índices para os dois tratores ensaiados nas duas condições de solo.

4.2.1. Resultados da simulação do desempenho do trator 4x2 em solo firme

Com os valores do índice de mobilidade de cada modelo calculou-se a razão dinâmica de tração (RDT)

Tabela 19. Índice de mobilidade para os modelos de WISMER & LUTH, GEE-CLOUGH *et alii* e BRIXIUS nas duas condições de solo, para os dois tratores.

4x2 - FIRME		4x2 - MOBILIZADO	
Índice	Valor	Índice	Valor
CN	65,45	CN	30,03
M	31,28	M	14,41
BN	90,64	BN	41,59

4x2 AUX - FIRME		4x2 AUX - MOBILIZADO	
Índice	Valor	Índice	Valor
CN _f	114,86	CN _f	48,42
CN _t	58,91	CN _t	26,64
M _f	51,55	M _f	21,74
M _t	30,31	M _t	13,70
BN _f	44,59	BN _f	60,97
BN _t	81,58	BN _t	36,89

onde: f: frontal; t: traseiro

e o valor de RMS. O modelo que mais se aproximou da curva de ajuste foi o de WISMER & LUTH, que apresentou um RMS de 0,0211 ou 2,11% de erro médio, contra 0,0672 do modelo de GEE-CLOUGH e 0,0791 para o modelo de BRIXIUS. Na figura 11 pode-se ver a curva de ajuste e o comportamento dos três modelos. Nota-se que tanto o modelo de GEE-CLOUGH como o de BRIXIUS subestimam o desempenho do

Figura 11. Comparação das curvas obtidas através dos métodos empíricos com a curva ajustada para a variável RDT para o trator 4x2 convencional em solo firme.

trator até aproximadamente 20% de patinamento, quando então passam a superestimar o mesmo. O modelo de WISMER ao contrário acompanha a curva de ajuste dos dados experimentais em toda a sua extensão. As diferenças entre os modelos podem ser explicadas analisando-se a taxa de crescimento da RDT em função do patinamento e o valor máximo de RDT, previsto pelo modelo. Nos modelos de GEE-

CLOUGH e BRIXIUS a taxa de crescimento é representada pelo fator K e pelos fatores 7,5 e 0,1*Bn respectivamente para cada modelo. Estes dois resultam em valores inferiores à taxa de crescimento da curva experimental, assim ambos os modelos estão aquém do experimental até 20-25% de patinamento, quando então passam a superestimar a RDT, devido ao fato de que ambos os modelos prevêem um valor máximo de RDT superior ao experimental. Assim quando os dados experimentais já atingiram a assíntota (patinamento > 30%), os modelos continuam a crescer. O modelo de WISMER & LUTH tem uma taxa de crescimento ligeiramente superior à curva experimental e um valor máximo de RDT próximo do valor experimental, concorrendo assim para proporcionar o menor valor de RMS.

4.2.2. Resultados da simulação do desempenho do trator 4x2 em solo mobilizado

Neste caso também foi o modelo de WISMER & LUTH, que apresentou o melhor resultado, RMS de 0,0535 contra 0,0836 para o modelo de GEE-CLOUGH e 0,1353 para o de BRIXIUS. No solo mobilizado os três modelos superestimaram o desempenho obtido pelo trator 4x2, conforme pode-se visualizar na figura 12. Os três modelos apresentaram características de superestimar a RDT, pelo efeito combinado da taxa de crescimento e do valor máximo serem superiores aos dos valores obtidos através da curva de ajuste. Desta forma os três modelos representam bem a RDT apenas para valores baixos de patinamento ($\pm 5\%$ de patinamento), quando então passam a superestimar os mesmos.

4.2.3. Resultados da simulação do desempenho do trator 4x2 auxiliar em solo firme

Os valores de índice de mobilidade estão na tabela 19. Nota-se que o modelo que melhor se adaptou foi o de GEE-CLOUGH, com um RMS de 0,0366 ou 3,66% de erro médio contra 0,0622 do modelo de WISMER e 0,0717 do modelo de BRIXIUS. Na figura 13 pode-se ver que o modelo

Figura 12. Comparação das curvas obtidas através dos métodos empíricos com a curva ajustada para a variável RDT para o trator 4x2 convencional em solo mobilizado.

de WISMER & LUTH apresentou a taxa de crescimento da RDT muito superior à experimental, ocasionando discrepâncias muito grandes para patinamentos baixos e valores próximos para patinamentos elevados (> 30%), devido ao fato do valor máximo de RDT previsto pelo modelo estar próximo do experimental. O modelo de BRIXIUS acompanhou a curva de ajuste até o patinamento de 12,5%, quando então passou a superestimar o comportamento. O modelo de GEE-CLOUGH acompanhou os dados experimentais até 12-15% de patinamento, quando passou a superestimar o mesmo. Mas mesmo assim foi o que mais se aproximou. Os modelos de Brixius e GEE-CLOUGH apresentaram taxas de crescimento da função muito próximos do real, conforme visualiza-se na figura 13, acarretando em valores adequados para patinamentos baixos (até 15%), em compensação os modelos prevêm valo-

Figura 13. Comparação das curvas obtidas através dos métodos empíricos com a curva ajustada para a variável RDT para o trator 4x2 auxiliar em solo firme.

res máximos de RDT superiores aos obtidos no ensaio, ocasionando diferenças grandes para patinamentos acima de 15%. A simulação a partir do eixo dianteiro também possibilitou valores adequados de RDT, conforme pode-se ver na figura 14, embora o RMS para o rodado frontal tenha sido de 6,54%.

4.2.4. Resultados da simulação do desempenho do trator 4x2 auxiliar em solo mobilizado

Para esta condição o modelo de WISMER & LUTH resultou no melhor RMS 0,0353 ou 3,53% de erro médio, contra 0,0582 para o modelo de GEE-CLOUGH e 0,1029 para o de BRIXIUS. Na figura 15 pode-se ver o comportamento dos modelos. Nota-se que todos os modelos tendem a superestimar o desempenho. O comportamento dos modelos neste caso foi idêntico ao do trator 4x2 em solo mobili-

Figura 14. Comparação do modelo de GEE-CLOUGH et alii aplicado ao eixo dianteiro e traseiro do trator 4x2 auxiliar em solo firme.

zado, devido a taxa de crescimento da RDT e do valor máximo serem superiores ao experimental. Assim até o nível de $\pm 5\%$ de patinamento os modelos prevêem a RDT com acurácia, mas a partir deste ponto passam a superestimar a mesma, chegando ao ponto do modelo de BRIXIUS apresentar uma diferença de até duas unidades de RDT para um patinamento de 30%.

Neste caso nota-se que a simulação do desempenho a partir do rodado dianteiro não produz resultados próximos do rodado traseiro, como mostra o valor do RMS de 11,03%, tal fato pode ser visualizado na figura 16.

A utilização dos modelos de simulação propostos por WISMER & LUTH, GEE-CLOUGH et alii e BRIXIUS, revelaram ser possível a obtenção dos valores de

Figura 15. Comparação das curvas obtidas através dos métodos empíricos com a curva ajustada para a variável RDT para o trator 4x2 auxiliar em solo mobilizado.

razão dinâmica de tração dos tratores considerados. De uma maneira geral o modelo de WISMER & LUTH apresentou sempre os valores mais próximos dos reais, exceto para o trator 4x2 com tração dianteira auxiliar em solo firme, sobre o qual o modelo não previu adequadamente os valores de RDT para níveis de patinamento baixos, em compensação o modelo atinge a assíntota com valores muito próximos dos experimentais.

O modelo de GEE-CLOUGH et alii pode ser considerado como segunda opção em todos os casos, embora tenha apresentado a tendência de superestimar a RDT em níveis de patinamento elevados. Conforme afirmação dos autores deste modelo, este é adequado para utilização em solos com restolhos ou cultivados, que foram as condições encontradas neste ensaio.

Figura 16. Comparação do modelo de WISMER & LUTH aplicado ao eixo dianteiro e traseiro do trator 4x2 auxiliar em solo mobilizado.

O modelo de BRIXIUS foi o que apresentou o pior desempenho no geral. Este modelo apresentou uma forte tendência a superestimar a RDT para níveis de patinamento elevados, conforme visualizado nas figuras anteriores.

O modelo de GEE-CLOUGH e o de BRIXIUS apresentaram forte tendência a superestimar os valores máximos de RDT, ocasionando discrepâncias acentuadas em níveis elevados de patinamento. A taxa de crescimento da RDT em função do patinamento foi inferior para ambos os modelos em solo firme e ligeiramente superiores em solo mobilizado. Ajustes melhores podem ser obtidos adotando-se novos valores para as constantes dos modelos, no entanto vários ensaios em diferentes condições de solo seriam necessários para definição destas novas constantes

com acurácia, o que não era o objetivo deste trabalho, que visou simplesmente a comparação entre os modelos.

Os valores de RMS, revelaram um erro máximo para os modelos de aproximadamente 10-13%, o que vai de encontro com as afirmações de PLACKETT (1985), segundo o qual os modelos empíricos estão sujeitos a um erro em torno de 15%. O mesmo foi relatado por WANG & DOMIER, que compararam o modelo de WISMER & LUTH com o modelo teórico de BEKKER e concluíram que ambos os modelos proporcionaram um erro em torno de 10%. Os autores citaram ainda a vantagem do modelo empírico de WISMER & LUTH pois o mesmo só necessita de 1 dado experimental. Nota-se também nos dados obtidos, que a predição da RDT a partir de uma roda reflete os valores de RDT obtidos para o trator como um todo, ou seja, os valores de RDT calculados para uma roda esta muito próximo do valor de RDT global para o trator, tanto no modelo convencional como no auxiliar.

PLACKETT (1985) ressalta que a diferença principal entre o modelo proposto por WISMER & LUTH e o de GEE-CLOUGH et alii, é que os primeiros utilizaram a aproximação clássica para calcular a razão dinâmica de tração, ou seja, subtraíram o valor da razão de resistência ao rolamento sobre a carga aplicada do valor da razão entre torque bruto e carga, enquanto que os outros autores previram a tração líquida diretamente a partir do número de mobilidade.

WITNEY (1988) discute os termos utilizados no índice de mobilidade de GEE-CLOUGH (1978), e afirma que o segundo termo refere-se à deflexão do pneu (associado à pressão de insuflagem) e o último reflete a

$$M = \frac{IC \cdot b \cdot d}{W} \cdot \sqrt{\frac{\delta}{h}} \cdot \frac{1}{1 + \frac{b}{2 \cdot d}}$$

geometria do pneu. Pelos dados obtidos, no entanto não representou melhoria em relação ao índice utilizado por WISMER & LUTH, mesmo porque o modelo destes apresentava as seguintes restrições: relação $b/d \approx 0,3$, $r/d \approx 0,475$ e deflexão de 20%, sendo esta última recomendação dos fabricantes de pneu, assim o modelo já previa as relações geométricas do pneu, sendo a influência destes sobre o resultado final muito pequena, uma vez que a grande maioria dos pneus estão próximos aos valores citados. O modelo de GEE-CLOUGH et alii, no entanto não apresenta nenhuma restrição quanto à estes fatores. DWYER & HEIGHO (1984), afirmam que o modelo de GEE-CLOUGH et alii é ideal para pneus convencionais, mas que não funciona para pneus excessivamente largos. Esta afirmação vai de encontro com o que foi discutido anteriormente, ou seja, apesar do índice de mobilidade levar em consideração a geometria do pneu e deflexão, não se tem idéia dos limites que tornam o modelo acurado. O modelo de BRIXIUS, assim como o de WISMER & LUTH, apresenta relações de restrição, mas este modelo por ser mais genérico do que os anteriores proporciona valores piores nas predições, ou seja, este modelo permite uma gama de variações maiores do que o de WISMER, mas quando se utiliza o mesmo para um caso específico o erro cometido é maior.

Finalmente conclue-se que todos os três modelos proporcionaram valores sempre inferiores a 13% de erro em relação aos dados experimentais e que o modelo de WISMER & LUTH é o melhor, apesar de ser o de menor generalidade no seu uso.

4.3. Resultados da simulação da eficiência tratória

No ensaio realizado não foram medidos os torques que permitissem o cálculo da eficiência tratória dos tratores nas diferentes condições de solo, mas baseando-se no comportamento do modelo de WISMER & LUTH

para a variável RDT (erro máximo de 6,22%), calculou-se a eficiência tratória teórica das rodas do trator, utilizando a equação:

$$ET = \left\{ 1 - \frac{\left(\frac{1,2}{CN} + 0,4 \right)}{0,75 \cdot e^{-0,3 \cdot CN \cdot S}} \right\} \cdot (1-S)$$

Nas figura 17 pode-se ver a curva da eficiência tratória vs. patinamento, para as rodas traseiras dos tratores nas duas condições de solo. Nota-se que o trator 4x2 auxiliar e o convencional não diferiram em termos da eficiência, ou seja, as rodas traseiras dos dois tratores trabalham com a mesma eficiência. Este dado conflita com a literatura em geral, pois a grande maioria dos trabalhos mostra uma eficiência superior para o 4x2 auxiliar.

Figura 17. Curva de eficiência tratória para as rodas traseiras do trator 4x2 e 4x2 auxiliar.

Figura 18. Curva de eficiência tratoria para as rodas do eixo dianteiro e traseiro do trator 4x2 auxiliar.

Na figura 18 pode-se ver a comparação das eficiências das rodas dos eixos dianteiro e traseiro do trator 4x2 auxiliar nas duas condições de solo. Neste caso percebe-se que existe diferença em termos da eficiência tratoria para os dois eixos, ou seja, o eixo dianteiro trabalha com uma eficiência teórica maior do que o eixo traseiro.

Finalmente não se pode concluir a respeito da influência da distribuição de pesos, pois no ensaio não foram levantados os dados de eficiência real, conforme discutido no início deste item. Mas a julgar pelo desempenho na barra de tração e RDT, pode-se inferir que a eficiência tratoria global do trator 4x2 auxiliar foi prejudicada pela insuficiência de peso no eixo dianteiro na condição dinâmica.

5. CONCLUSÕES

Com base nos dados analisados, obtiveram-se as seguintes conclusões:

- O trator 4x2 com tração dianteira auxiliar apresentou níveis de força, potência e velocidade superiores ao 4x2 convencional até 15% de patinamento, exceto para a potência obtida na 3L em solo firme e velocidade na marcha 3L sobre solo firme e mobilizado.

- A força máxima obtida pelo trator 4x2 auxiliar foi superior ao 4x2 convencional em todas as marchas e condições de solo.

- A potência máxima obtida pelo trator 4x2 auxiliar foi superior em todas as marchas e condições de solo, exceto na 3L em solo firme.

- A potência obtida pelo trator 4x2 auxiliar foi prejudicada pela queda acentuada da velocidade em função do patinamento.

- A velocidade obtida na marcha 3L pelo trator 4x2 auxiliar influenciou negativamente o desempenho do trator, indicando ineficiência da tração dianteira.

- Os tratores atingem a potência máxima em níveis diferentes de patinamento para a 3L e em níveis próximos para a 1L em solo firme e em níveis diferentes em solo mobilizado.

- A relação de desempenho solo firme - solo mobilizado foi ligeiramente superior para o trator 4x2 auxiliar.

- A razão dinâmica de tração obtida experimentalmente foi superior no trator convencional em solo firme e muito próxima em solo mobilizado.

- A análise da distribuição estática e dinâmica de peso dos tratores e os valores de razão dinâmica de tração, mostraram que o trator 4x2 auxiliar é deficiente em peso no eixo dianteiro, contribuindo para um desempenho inferior ao esperado.

■ A análise dos modelos empíricos de simulação da razão dinâmica de tração mostraram que todos os três modelos testados produzem valores acurados suficientes (erro < 13%), sendo ainda que o modelo de WISMER & LUTH apesar de ser o de menor generalidade é o que produz os resultados mais confiáveis em todas as situações, exceto para o trator 4x2 auxiliar em solo firme.

■ Os modelos propostos por GEE-CLOUGH *et alii* e BRI-XIUS apresentaram a tendência de superestimar a razão dinâmica de tração em todas as condições de solo, para os dois tratores ensaiados, devido ao fato destes gerarem valores discrepantes quanto ao máximo de razão dinâmica de tração e por apresentar taxas de crescimento da função diferentes das taxas de crescimento da curva experimental.

■ A análise teórica da eficiência tratória revelou que com a atual distribuição estática de peso dos tratores analisados, não existem diferenças acentuadas na eficiência tratória máxima referente ao eixo traseiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCOCK, R. Tractor-implement systems. Westport, Avi Publishing, 1986. 161p.

BASHFORD, L.L. Axle power distribution for a front wheel assist tractor. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 28(5):1385-8, Sept./Oct. 1985.

BASHFORD, L.L. & BARGEN, K.V. Front-wheel assist : does it pay off ? Agricultural Engineering, St. Joseph, 66(5):7-9, May 1985.

BASHFORD, L.L.; WOERMAN, G.R.; SHROPSHIRE, G.J. Front wheel assist tractor performance in two-and four-wheel drive modes. Transaction of the ASAE, St. Joseph, 28(1):23-9, Jan./Feb. 1985.

BASHFORD, L.L.; BARGEN, K.V.; WAY, T.R.; XIAOXIAN, L. Performance comparisons between duals and singles on the rear axle of a front wheel assist tractor. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 30(3):641-5. May/June 1987.

BRIXIUS, W.W. Traction prediction equations for bias ply tires. St. Joseph, ASAE, 1987. (ASAE paper, 87-1622)

BRIXIUS, W.W. & WISMER, R.D. The role of slip in traction. St. Joseph, ASAE, 1978. (ASAE paper 78-1530)

BURT, E.C. & LYNE, P.W. Velocity effects on traction performance. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 28(6):1729-30, Nov./Dec. 1985.

BURT, C.E.; SCHAFER, R.L.; TAYLOR, J.H. Similitude of a model traction device : Part I - prediction of the dynamic traction ratio. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 17(4):658-61, July/Aug. 1974.

CLARK, R.L. Tractor performance in two- and four-wheel drive. Transactions of the ASAE, St. Joseph. 27(1): 8-11, 1984.

DRAPER, N.R. & SMITH, H. Applied regression analysis. New York, John Wiley, 1966. 407p.

DWYER, M.J. Soil dynamics and the problems of traction and compaction. Agricultural Engineering, St. Joseph, 38(3):62-9, 1983.

DWYER, M.J. & HEIGHO, D.P. The tractive performance of some large tractor drive wheel tyres compared with duals wheels. Journal of Agricultural Engineering Research, London, 29(1):43-50, Jan. 1984.

DWYER, M.J. & PEARSON, G. A field comparison of the tractive performance of two-and four-wheel drive tractors. Journal of Agricultural Engineering Research, London, 21(1):77-83, Mar. 1976.

GARBER, M. Tractive efficiency of tracked vehicle. Journal of Agricultural Engineering Research, London, 32(4):359-69, Dec. 1985.

GEE-CLOUGH, D. Selection of tyres sizes for agricultural vehicles. Journal of Agricultural Engineering Research, London, 25(3):261-78, 1978.

- GEE-CLOUGH, D.; PEARSON, G.; McALLISTER, M. Ballasting wheeled tractors to achieve maximum power output in frictional-cohesive soils. Journal of Agricultural Engineering Research, London, 27(1):1-19, Jan. 1982.
- GEE-CLOUGH, D.; McALLISTER, M.; PEARSON, G.; EVERNDEN, D.W. The empirical prediction of tractor-implement field performance. Journal of Terramechanics, Hanover, 15(2):81-94, 1978.
- HAYES, J.C. & LIGON, J.T. Traction prediction using soil physical properties. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 24(6):1420-5, Nov./Dec. 1981.
- LEVITICUS, L.I. & REYES, J.F. Tractor performance on concrete. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 28(5):1425-9, Sept./Oct. 1985.
- McALLISTER, M. Reduction in the rolling resistance of tyres for trailed agricultural machinery. Journal of Agricultural Engineering Research, London, 28(2):127-37, Mar. 1983.
- MACNAB, E.J.; WENSINK, R.B.; BOOSTER, D.E. Modeling wheel tractor energy requirements and tractive performance. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 20(4):602-9, July/Aug. 1977.
- NETER, J. & WASSERMAN, W. Applied linear statistical models; regression analysis of variance and experimental designs. Homewood, Richard D. Irwin, 1974. 842p.

- PLACKETT, C.W. A review of force prediction methods for off-road wheels. Journal of Agricultural Engineering Research, London, 31(1):1-29, Jan. 1985.
- RACKHAM, D.H. & BLIGHT, D.P. Four wheel drive tractors- A review. Journal of Agricultural Engineering Research, London, 31(3):185-201, Apr. 1985.
- RAGHAVAN, G.S.V. & MCKYES, E. Performance of traction wheels in a clay soil. Transaction of the ASAE, St. Joseph, 22(2):229-32, Mar./Apr. 1979.
- REYES, J.F.A. Analysis of tractor drawbar performance data on concrete at Nebraska, Lincoln, 1982. (M.S.-University of Nebraska)
- REYES, J.F.A. & LEVITICUS, L.L. Tractor performance on concrete. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 28(5):1425-9, Sept./Oct. 1985.
- TAYLOR, J.H.; TROUSE, A.C.; BURT, E.C.; BAILEY, A.C. Multipass behavior of a pneumatic tire in tilled soils. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 25(5):1129-236, 1982.
- TURNAGE, G.W. Using dimensionless prediction terms to describe off-road wheeled vehicle performance, St. Joseph, ASAE, 1972. (ASAE paper, 72-634)
- TURNAGE, G.W. Using dimensionless prediction terms to describe in-soil tracked vehicle performance. Transactions of the ASAE, St. Joseph, 18(5):832-40, Sept./Oct. 1975.

- YONG, R.N.; FATTAH, E.A.; BOONSINSUK, P. Analysis and prediction of tyre-soil interaction and performance using finite elements. Journal of Terramechanics, Hanover, 15(1):43-63, 1978.
- VOORHEES, M.L. & WALCKER, P.N. Tractionability as a function of soil moisture. Transactions of the ASAE, St.Joseph, 20(5):806-9, Sept./Oct. 1977.
- WANG, Z. & DOMIER, W. Prediction of drawbar performance for a tractor with dual tires. Transactions of the ASAE, St.Joseph, 32(5):1529-33, Sept./Oct. 1989.
- WIENDIECK, K.W. & MELZER, K.J. A semiempirical approach to the prediction of pull/load ratio for wheels. Transactions of the ASAE, St.Joseph, 15(2):239-45, Mar./Apr. 1972.
- WISMER, R.D. & LUTH, H.J. Off-road traction prediction for wheeled vehicles. Journal of Terramechanics, Hanover, 10(2):49-61, 1973.
- WITNEY, B. Choosing and using farm machines. London, Longman. 1988. 412p.
- WOERMAN, G.R. & BASHFORD, L.L. How much does front wheel assist really help ? Agricultural Engineering, St.Joseph, 65(4):31-5, Apr. 1984.
- ZOZ, F.M. Predicting tractor field performance. Transactions of the ASAE, St.Joseph, 15(2):249-55, Mar./Apr. 1972.

ZOZ, F.M. Predicting tractor field performance
(updated). St.Joseph, ASAE, 1987. (ASAE paper, 87-
1623)

Apêndice I. Características dos tratores Valmet 885 4x2 e 885 4x2 com tração auxiliar.

TRATOR : 885 4x2 CONVENCIONAL

MARCA : VALMET

MODELO : 885

MOTOR

MARCA/MODELO : MWM/D 229.4

TIPO : Diesel

CILINDRADA TOTAL : 3.922 cm³

RELAÇÃO DE COMPRESSÃO : 16.6:1

POTÊNCIA BRUTA NO MOTOR (2300 rpm) : 61,8 kw (84 cv)

TORQUE MÁXIMO À 1400 rpm : 280 Nm (28,5 mkgf)

CAIXA DE CÂMBIO : 8 marchas à frente e 4 à ré

TRATOR : 885 4x2 AUXILIAR

MARCA : VALMET

MODELO : 885 4x2 AUXILIAR

MOTOR : idêntico ao anterior

DISTRIBUIÇÃO DE PESO (kN)

	4x2		4x2 AUX	
	C.L.	S.L.	C.L.	S.L.
Frontal	14,70	11,07	19,21	14,41
Traseiro	29,99	22,05	33,12	24,84
Total	44,69	33,12	52,33	39,25

DIMENSÕES

	4x2	AUX
Dist.entre eixos	2350 mm	2350 mm
Raio est.diant.	390 mm	590 mm
Raio est.tras.	770 mm	750 mm
Altura bar.Tração	510 mm	450 mm

Apêndice II - Características dos pneumáticos utilizados
(segundo Brixius 1987)

Figura 19. Esquema de um pneu, conforme proposto por Brixius 1987.

onde:

- b : secção de largura do pneu;
- d : diâmetro do pneu;
- re : raio estático;
- h : altura da secção lateral;
- fh : altura da borda;
- lc : linha de centro;
- dn : diâmetro nominal do aro;

δ : deflexão;
 h_d : altura da secção lateral defletida;
 r : raio rolante em uma superfície rígida.

sendo :

$$h = \frac{d - d \cdot 1,06}{2}$$

$$\delta = \frac{d}{2} - Re$$

$$r = \frac{2,5 \cdot \left(\frac{d}{2}\right) \cdot (Re)}{1,5 \cdot \left(\frac{d}{2}\right) + (Re)}$$

PNEU : 7.50-18

$b = 0,191 \text{ m}$

$d = 0,838 \text{ m}$

$h = 0,177 \text{ m}$

$r = 0,401 \text{ m}$

$\delta = 0,029 \text{ m}$

Pressão de insuflagem : 165 kPa

PNEU : 14.9-24

$b = 0,378 \text{ m}$

$d = 1,367 \text{ m}$

$h = 0,360 \text{ m}$

$r = 0,624 \text{ m}$

$\delta = 0,094 \text{ m}$

$b/d = 0,277$

$\delta/h = 0,261$

$r/d = 0,456$

$W/bd = 18,735 \text{ kN/m}^2$

Pressão de insuflagem : 140 kPa

PNEU : 18.4-34 4x2 convencional

$$b = 0,467 \text{ m}$$

$$d = 1,798 \text{ m}$$

$$h = 0,441 \text{ m}$$

$$r = 0,817 \text{ m}$$

$$\delta = 0,129 \text{ m}$$

$$b/d = 0,260$$

$$\delta/h = 0,293$$

$$r/d = 0,454$$

$$W/bd = 21,294 \text{ kN/m}^2$$

Pressão de insuflagem : 140 kPa

PNEU : 18.4-34 4x2 auxiliar

$$b = 0,467 \text{ m}$$

$$d = 1,798 \text{ m}$$

$$h = 0,441 \text{ m}$$

$$r = 0,803 \text{ m}$$

$$\delta = 0,149 \text{ m}$$

$$b/d = 0,260$$

$$\delta/h = 0,338$$

$$r/d = 0,447$$

$$W/bd = 19,633 \text{ kN/m}^2$$

Pressão de insuflagem : 140 kPa

Apêndice III - Características físicas do solo da área experimental.

Frações Granulométricas : Argila - 51%

Silte - 15%

Areia - 34%

Classe Textural : Argila (segundo triângulo para classificação textural do solo do Instituto Agronômico de Campinas IAC)

Massa Específica real do solo : 2,70 g/cm³

Limites de Atterberg - Limite de Liquidez : 38,5%

- Limite de plasticidade : 20,7%

- Índice de plasticidade : 17,8%

Índice de cone do solo firme : 1395 kPa

Umidade 15,8% (0-5 cm)

18,9% (5-15 cm)

Índice de cone do solo mobilizado : 620 kPa

Umidade 14,8% (0-5 cm)

21,0% (5-15 cm)

Apêndice IV - Dados experimentais.

TRATOR : 4x2 CONVENCIONAL

CONDIÇÃO DE SOLO : FIRME

PAT %	FORÇA (kN)	V (Km/h)	POT (kw)	TP (kN)	CARGA F (kN)	CARGA T (kN)	RDT
0.40	4.67	6.54	8.49	1.01	13.69	31.00	0.15
1.18	4.01	3.32	3.69	0.87	13.83	30.86	0.13
1.18	4.68	3.31	4.31	1.02	13.68	31.01	0.15
1.56	4.65	6.49	8.38	1.01	13.69	31.00	0.15
1.56	4.19	3.32	3.86	0.91	13.79	30.90	0.14
1.95	4.40	6.47	7.91	0.95	13.75	30.94	0.14
1.95	4.24	6.43	7.57	0.92	13.78	30.91	0.14
1.95	4.09	3.31	3.75	0.89	13.81	30.88	0.13
2.33	4.24	6.44	7.59	0.92	13.78	30.91	0.14
2.33	3.49	3.30	3.20	0.76	13.94	30.75	0.11
2.70	10.07	3.24	9.06	2.19	12.51	32.18	0.31
2.70	9.29	6.33	16.34	2.02	12.68	32.01	0.29
2.70	9.33	6.33	16.42	2.02	12.68	32.01	0.29
3.08	11.31	3.22	10.12	2.45	12.25	32.44	0.35
3.45	9.80	3.24	8.81	2.13	12.57	32.12	0.31
3.45	9.60	3.22	8.60	2.08	12.62	32.07	0.30
4.18	9.35	6.28	16.32	2.03	12.67	32.02	0.29
4.18	10.01	3.22	8.95	2.17	12.53	32.16	0.31
4.18	10.80	6.26	18.80	2.34	12.36	32.33	0.33
4.55	14.79	6.18	25.41	3.21	11.49	33.20	0.45
4.91	9.12	6.22	15.76	1.98	12.72	31.97	0.29
4.91	14.77	6.15	25.23	3.20	11.50	33.19	0.44
4.91	14.68	6.17	25.15	3.19	11.51	33.18	0.44
5.97	14.29	6.13	24.33	3.10	11.60	33.09	0.43
5.97	15.09	3.13	13.11	3.27	11.43	33.26	0.45
6.32	14.74	3.12	12.78	3.20	11.50	33.19	0.44
6.67	14.87	3.10	12.80	3.23	11.47	33.22	0.45
6.67	15.36	3.10	13.24	3.33	11.37	33.32	0.46
7.01	14.52	3.09	12.48	3.15	11.55	33.14	0.44
7.69	14.87	5.98	24.71	3.23	11.47	33.22	0.45
10.0	18.85	5.73	30.02	4.09	10.61	34.08	0.55
10.3	19.09	5.76	30.54	4.14	10.56	34.13	0.56
11.2	19.48	5.69	30.79	4.23	10.47	34.22	0.57
12.5	21.35	6.10	36.22	4.63	10.07	34.62	0.62
12.5	19.16	5.62	29.93	4.16	10.54	34.15	0.56
17.1	20.36	2.73	15.45	4.42	10.28	34.41	0.59
17.6	20.67	2.71	15.55	4.49	10.21	34.48	0.60
17.9	22.50	5.24	32.75	4.88	9.82	34.87	0.65
18.1	20.21	2.70	15.18	4.38	10.32	34.37	0.59
19.7	23.34	5.12	33.17	5.06	9.64	35.05	0.67
20.0	20.62	2.64	15.15	4.48	10.22	34.47	0.60
20.0	21.00	2.64	15.41	4.56	10.14	34.55	0.61
20.2	23.12	5.11	32.84	5.02	9.68	35.01	0.66
20.2	23.34	5.08	32.98	5.07	9.63	35.06	0.67

continuação

20.7	22.95	5.07	32.31	4.98	9.72	34.97	0.66
25.4	23.66	2.46	16.15	5.13	9.57	35.12	0.67
25.4	23.67	2.45	16.14	5.14	9.56	35.13	0.67
25.8	20.51	2.45	13.94	4.45	10.25	34.44	0.60
26.9	20.75	2.41	13.89	4.50	10.20	34.49	0.60
26.9	22.63	2.40	15.07	4.91	9.79	34.90	0.65
32.6	26.12	4.32	31.36	5.67	9.03	35.66	0.73
32.6	25.36	2.21	15.60	5.50	9.20	35.49	0.71
33.6	25.34	2.18	15.38	5.50	9.20	35.49	0.71
34.5	26.73	4.08	30.31	5.80	8.90	35.79	0.75
34.7	25.66	2.13	15.21	5.57	9.13	35.56	0.72
34.8	25.65	2.13	15.20	5.57	9.13	35.56	0.72
35.5	25.07	2.11	14.72	5.44	9.26	35.43	0.71
36.0	25.27	3.99	28.04	5.48	9.22	35.47	0.71
38.2	26.57	3.84	28.37	5.77	8.93	35.76	0.74
38.8	26.64	3.77	27.90	5.78	8.92	35.77	0.74

TRATOR : 4x2 CONVENCIONAL

CONDIÇÃO DE SOLO : MOBILIZADO

PAT	FORÇA	V	POT	TP	CARGA Tr	RDT
%	(kN)	(km/h)	(kw)	(kN)	(kN)	
2.14	4.57	3.24	4.12	0.99	30.96	0.15
2.51	4.20	3.24	3.78	0.91	30.88	0.14
2.89	4.69	6.39	8.33	1.02	30.99	0.15
3.08	4.59	6.39	8.16	1.00	30.97	0.15
3.63	4.45	6.36	7.86	0.96	30.93	0.14
3.63	4.76	3.23	4.27	1.03	31.00	0.15
4.00	3.87	3.22	3.46	0.84	30.83	0.13
4.36	4.32	3.19	3.82	0.94	30.12	0.14
4.55	4.38	6.26	7.62	0.95	30.92	0.14
4.91	4.89	6.32	8.59	1.06	31.03	0.16
7.86	11.56	3.05	9.81	2.51	32.48	0.36
8.20	11.31	3.05	9.59	2.45	32.42	0.35
8.36	10.30	6.02	17.23	2.24	32.21	0.32
8.36	11.20	3.04	9.46	2.43	32.40	0.35
8.86	10.06	5.91	16.53	2.18	32.15	0.31
8.86	10.82	6.01	18.07	2.35	32.32	0.33
9.19	10.98	3.04	9.27	2.38	32.35	0.34
9.19	11.16	3.03	9.39	2.42	32.39	0.34
9.52	10.53	5.92	17.32	2.28	32.25	0.33
9.84	10.32	5.93	17.00	2.24	32.21	0.32
14.5	13.32	5.51	20.40	2.89	32.86	0.41
15.2	15.29	5.44	23.13	3.32	33.29	0.46
15.4	14.88	2.80	11.59	3.23	33.20	0.45
15.7	14.79	2.79	11.47	3.21	33.18	0.45
16.0	14.76	2.78	11.40	3.20	33.17	0.44
16.2	14.26	5.42	21.48	3.09	33.06	0.43
16.4	14.94	2.78	11.54	3.24	33.21	0.45

continuação

16.9	14.74	2.76	11.30	3.20	33.17	0.44
17.3	13.96	5.38	20.87	3.03	33.00	0.42
17.6	15.23	5.35	22.65	3.30	33.27	0.46
20.7	16.90	2.63	12.36	3.67	33.64	0.50
21.2	16.88	2.62	12.28	3.66	33.63	0.50
21.5	16.72	2.64	12.25	3.63	33.60	0.50
22.2	16.08	2.57	11.48	3.49	33.46	0.48
22.4	15.90	5.05	22.29	3.45	33.42	0.48
23.6	16.10	2.59	11.57	3.49	33.46	0.48
23.8	16.37	4.87	22.15	3.55	33.52	0.49
25.0	17.60	4.81	23.54	3.82	33.79	0.52
26.6	18.07	4.73	23.77	3.92	33.89	0.53
28.2	18.82	2.36	12.34	4.08	34.05	0.55
31.0	18.02	4.47	22.38	3.91	33.88	0.53
33.9	18.41	2.19	11.21	4.00	33.97	0.54
34.3	18.22	2.17	10.98	3.95	33.92	0.54
34.8	18.28	2.15	10.95	3.97	33.94	0.54
37.7	18.48	2.08	10.70	4.01	33.98	0.54
39.2	19.69	3.89	21.28	4.27	34.24	0.57
40.9	18.56	3.80	19.58	4.03	34.00	0.55
43.3	20.59	3.61	20.68	4.47	34.44	0.60
44.3	20.47	3.54	20.15	4.44	34.41	0.59
46.8	18.84	3.43	17.95	4.09	34.06	0.55
57.0	21.63	1.41	8.46	4.69	34.66	0.62
57.5	21.25	1.39	8.21	4.61	34.58	0.61
57.5	21.23	1.38	8.17	4.61	34.58	0.61
57.9	21.30	1.37	8.14	4.62	34.59	0.62
57.9	21.63	1.38	8.30	4.70	34.67	0.62

TRATOR : 4x2 AUXILIAR
CONDIÇÃO DE SOLO : FIRME

PAT ¹ %	PAT ² %	FORÇA (kN)	V (km/h)	POT (kw)	TP (kN)	CARGA F (kN)	CARGA T (kN)	RDT
0.30	0.81	6.39	6.86	12.19	1.22	17.98	34.34	0.12
0.30	1.21	6.75	3.46	6.49	1.29	17.91	34.41	0.13
0.00	1.21	10.19	6.79	19.21	1.95	17.25	35.07	0.19
0.00	2.01	6.18	3.47	5.95	1.18	18.02	34.30	0.12
0.59	2.01	6.33	6.73	11.84	1.21	17.99	34.33	0.12
1.75	2.01	6.27	3.44	6.01	1.20	18.00	34.32	0.12
1.18	2.40	9.70	6.66	17.95	1.86	17.34	34.98	0.19
0.59	2.40	6.77	3.45	6.49	1.30	17.90	34.42	0.13

¹ Patinamento dianteiro

² Patinamento traseiro

continuação

1.18	2.40	6.27	6.74	11.74	1.20	18.00	34.32	0.12
2.04	2.79	6.43	6.70	11.97	1.23	17.97	34.35	0.12
0.88	2.79	6.66	3.44	6.37	1.28	17.92	34.40	0.13
1.75	3.17	15.00	6.60	27.49	2.87	16.33	35.99	0.29
2.61	3.17	10.43	3.42	9.92	2.00	17.20	35.12	0.20
3.17	3.17	9.28	3.41	8.79	1.78	17.42	34.90	0.18
0.88	3.17	7.32	3.44	7.00	1.40	17.80	34.52	0.14
2.89	3.56	10.35	3.38	9.71	1.98	17.22	35.10	0.20
2.61	3.56	10.53	6.58	19.25	2.02	17.18	35.14	0.20
2.89	3.56	10.41	3.39	9.80	1.99	17.21	35.11	0.20
2.33	3.56	6.80	6.69	12.64	1.30	17.90	34.42	0.13
1.75	3.94	10.96	3.38	10.29	2.10	17.10	35.22	0.21
3.17	4.31	9.84	6.57	17.97	1.88	17.32	35.00	0.19
2.61	4.31	15.15	6.51	27.40	2.90	16.30	36.02	0.29
4.00	4.69	10.11	3.35	9.41	1.94	17.26	35.06	0.19
3.45	4.69	15.08	6.46	27.05	2.89	16.31	36.01	0.29
8.70	4.69	15.24	3.36	14.21	2.92	16.28	36.04	0.29
2.89	4.69	14.74	3.34	13.68	2.82	16.38	35.94	0.28
4.00	5.06	14.58	6.43	26.08	2.79	16.41	35.91	0.28
3.72	5.06	15.45	3.35	14.37	2.96	16.24	36.08	0.30
3.72	5.06	14.96	6.41	26.67	2.86	16.34	35.98	0.29
5.08	5.06	15.03	3.31	13.83	2.88	16.32	36.00	0.29
3.72	5.43	15.42	3.32	14.23	2.95	16.25	36.07	0.29
5.35	6.15	19.83	3.25	17.91	3.80	15.40	36.92	0.38
5.62	6.51	19.62	3.24	17.64	3.76	15.44	36.88	0.37
5.08	6.51	10.43	6.39	18.52	2.00	17.20	35.12	0.20
5.88	6.87	21.40	6.20	36.87	4.10	15.10	37.22	0.41
5.88	7.22	26.63	4.50	33.28	5.10	14.10	38.22	0.51
5.88	7.22	26.16	5.17	37.57	5.01	14.19	38.13	0.50
6.41	7.58	19.44	3.22	17.39	3.72	15.48	36.84	0.37
7.44	7.58	19.56	3.22	17.49	3.75	15.45	36.87	0.37
6.93	7.92	18.98	3.21	16.91	3.63	15.57	36.75	0.36
7.18	8.27	20.80	6.14	35.48	3.98	15.22	37.10	0.40
6.93	8.27	21.16	6.11	35.93	4.05	15.15	37.17	0.40
6.67	8.61	20.90	6.15	35.71	4.00	15.20	37.12	0.40
7.44	8.96	20.65	6.09	34.96	3.95	15.25	37.07	0.39
8.45	9.29	25.76	3.15	22.57	4.93	14.27	38.05	0.49
9.19	9.96	25.47	3.11	22.01	4.88	14.32	38.00	0.49
9.92	10.6	27.41	3.84	29.25	5.25	13.95	38.37	0.52
8.94	10.9	26.04	5.13	37.10	4.99	14.21	38.11	0.50
9.92	11.5	26.02	3.08	22.28	4.98	14.22	38.10	0.50
9.92	11.5	25.84	4.82	34.65	4.95	14.25	38.07	0.49
10.8	11.5	27.70	3.76	28.96	5.30	13.90	38.42	0.53
9.92	11.5	26.93	4.18	31.25	5.16	14.04	38.28	0.51
10.1	11.5	25.09	3.08	21.49	4.81	14.39	37.93	0.48
10.4	11.5	24.61	3.06	20.94	4.71	14.49	37.83	0.47
11.3	11.9	27.71	3.59	27.65	5.31	13.89	38.43	0.53
11.8	12.5	25.81	4.80	34.47	4.94	14.26	38.06	0.49
10.6	12.5	27.68	3.77	29.02	5.30	13.90	38.42	0.53
13.1	14.0	25.96	4.77	34.43	4.97	14.23	38.09	0.50

continuação

13.4	14.6	28.87	3.66	29.40	5.53	13.67	38.65	0.55
14.2	15.8	28.91	3.62	29.08	5.54	13.66	38.66	0.55
14.5	16.7	28.89	3.61	29.01	5.53	13.67	38.65	0.55
15.5	17.0	28.76	3.57	28.55	5.51	13.69	38.63	0.55
17.2	18.3	29.05	3.49	28.19	5.56	13.64	38.68	0.56
24.6	25.3	34.73	2.55	24.57	6.65	12.55	39.77	0.66
26.3	27.1	33.37	2.49	23.08	6.39	12.81	39.51	0.64
26.4	27.6	34.49	2.48	23.74	6.60	12.60	39.72	0.66
27.7	28.2	34.71	2.44	23.53	6.65	12.55	39.77	0.66
28.8	29.6	33.88	2.40	22.55	6.49	12.71	39.61	0.65
30.2	31.2	33.44	2.35	21.84	6.40	12.80	39.52	0.64

TRATOR : 4x2 AUXILIAR
 CONDIÇÃO DE SOLO : MOBILIZADO

PAT %	PAT %	FORÇA (kN)	V (km/h)	POT (kw)	TP (kN)	CARGA F. (kN)	CARGA T. (kN)	RDT
2.62	2.38	7.98	6.64	14.72	1.53	17.67	34.65	0.15
1.76	2.77	5.31	3.42	5.04	1.02	18.18	34.14	0.10
3.75	3.53	7.31	6.55	13.29	1.40	17.80	34.52	0.14
3.47	3.53	8.06	6.54	14.65	1.54	17.66	34.66	0.15
3.19	3.53	6.45	3.40	6.10	1.24	17.96	34.36	0.12
2.91	3.91	6.49	3.41	6.14	1.24	17.96	34.36	0.12
4.57	3.91	7.96	6.53	14.44	1.52	17.68	34.64	0.15
2.91	4.28	6.66	3.40	6.29	1.28	17.92	34.40	0.13
2.62	4.28	6.21	3.41	5.88	1.19	18.01	34.31	0.12
5.11	5.02	11.16	3.30	10.24	2.14	17.06	35.26	0.21
5.11	5.02	11.57	3.31	10.65	2.22	16.98	35.34	0.22
4.57	5.38	7.93	6.50	14.32	1.52	17.68	34.64	0.15
6.18	6.11	11.32	3.29	10.35	2.17	17.03	35.29	0.22
5.38	6.11	11.10	3.29	10.15	2.13	17.07	35.25	0.21
5.92	6.46	12.64	6.32	22.21	2.42	16.78	35.54	0.24
5.38	6.46	11.07	3.28	10.09	2.12	17.08	35.24	0.21
6.96	6.82	13.39	6.28	23.35	2.56	16.64	35.68	0.26
7.22	7.52	13.45	6.24	23.34	2.58	16.62	35.70	0.26
6.96	7.52	13.09	6.30	22.91	2.51	16.69	35.63	0.25
7.73	7.52	16.05	3.18	14.19	3.07	16.13	36.19	0.31
7.99	7.87	13.15	6.21	22.70	2.52	16.68	35.64	0.25
7.73	7.87	15.74	3.19	13.95	3.01	16.19	36.13	0.30
7.73	8.21	15.37	3.18	13.59	2.94	16.26	36.06	0.29
7.99	8.55	15.64	3.19	13.85	3.00	16.20	36.12	0.30
8.49	9.23	15.16	3.17	13.33	2.90	16.30	36.02	0.29
10.2	9.56	18.40	5.98	30.57	3.52	15.68	36.64	0.35
9.49	10.2	18.27	6.00	30.45	3.50	15.70	36.62	0.35
10.2	10.5	17.85	5.94	29.47	3.42	15.78	36.54	0.34
11.4	10.8	18.35	5.89	30.03	3.51	15.69	36.63	0.35
11.4	11.8	17.61	5.89	28.82	3.37	15.83	36.49	0.34

continuação

13.9	13.9	22.01	2.95	18.02	4.21	14.99	37.33	0.42
15.0	14.2	21.33	2.93	17.37	4.08	15.12	37.20	0.41
14.5	14.5	21.24	2.93	17.30	4.07	15.13	37.19	0.41
14.8	14.8	21.48	2.94	17.55	4.11	15.09	37.23	0.41
15.0	15.7	21.25	2.91	17.21	4.07	15.13	37.19	0.41
17.1	16.8	24.98	2.85	19.76	4.78	14.42	37.90	0.48
17.3	17.1	24.08	4.36	29.15	4.61	14.59	37.73	0.46
16.9	17.1	24.38	2.84	19.26	4.67	14.53	37.79	0.47
17.7	17.4	24.34	2.81	19.01	4.66	14.54	37.78	0.47
18.1	17.7	24.07	3.98	26.65	4.61	14.59	37.73	0.46
17.1	17.7	24.11	4.34	29.08	4.62	14.58	37.74	0.46
17.9	18.0	24.29	2.80	18.90	4.65	14.55	37.77	0.46
18.1	18.2	24.08	4.15	27.79	4.61	14.59	37.73	0.46
18.7	18.2	24.14	4.35	29.18	4.62	14.58	37.74	0.46
18.7	18.8	24.28	4.24	28.63	4.65	14.55	37.77	0.46
19.1	19.3	23.86	4.28	28.35	4.57	14.63	37.69	0.46
19.3	19.6	23.81	4.03	26.64	4.56	14.64	37.68	0.46
19.7	19.6	23.90	4.03	26.80	4.58	14.62	37.70	0.46
19.9	19.8	23.67	3.93	25.87	4.53	14.67	37.65	0.45
19.5	20.1	23.85	2.74	18.19	4.57	14.63	37.69	0.46
23.3	23.3	26.39	2.60	19.09	5.05	14.15	38.17	0.50
23.3	23.6	26.58	2.60	19.24	5.09	14.11	38.21	0.51
24.2	24.5	25.72	2.58	18.44	4.93	14.27	38.05	0.49
24.7	24.7	25.54	2.57	18.21	4.89	14.31	38.01	0.49
25.4	26.1	25.61	2.54	18.08	4.90	14.30	38.02	0.49
37.3	37.7	30.32	2.12	17.82	5.81	13.39	38.93	0.58
37.9	38.1	31.15	2.10	18.20	5.97	13.23	39.09	0.60
38.7	38.6	30.53	2.08	17.68	5.85	13.35	38.97	0.58
39.0	39.2	30.65	2.07	17.59	5.87	13.33	38.99	0.59
39.1	39.2	30.18	2.07	17.33	5.78	13.42	38.90	0.58

Apêndice V. Resultados das regressões polinomiais.

TRATOR : 885 4x2 CONVENCIONAL

SOLO : FIRME

AJUSTE DO MODELO PARA : Força (1L) vs. Patinamento

Var. indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	5,130391	0,84786	6,0510	0,0000
F4x2FOR1	1,198329	0,14055	8,5258	0,0000
F4x2FOR1 ²	-0,018501	0,00396	-4,6656	0,0001

R² : 0,9165

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD. MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	1512,12	2	756,061	160,096	0.0000
ERRO	127,509	27	4,72255		
TOTAL	1639,63	29			

AJUSTE DO MODELO PARA : Força (3L) vs. Patinamento

Var. indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	4,438105	0,78914	5,6327	0,0000
F4x2FOR3	1,516671	0,12226	12,4051	0,0000
F4x2FOR3 ²	-0,025318	0,00312	-8,1065	0,0000

R² : 0,9297

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD. MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	1615,95	2	807,975	192,894	0.0000
ERRO	113,095	27	4,18869		
TOTAL	1729,05	29			

AJUSTE DO MODELO PARA : Potência (1L) vs. Patinamento

Var. indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	4,989777	0,75462	6,6123	0,0000
F4x2POT1	0,949659	0,12509	7,5914	0,0000
F4x2POT1 ²	-0,019683	0,00352	-5,5769	0,0000

R² : 0,8016

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD. MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	445,689	2	222,845	59,568	0.0000
ERRO	101,007	27	3,74098		
TOTAL	546,69	29			

AJUSTE DO MODELO PARA : Potência (3L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	8,789714	1,45255	6,0512	0,0000
F4x2POT3	2,347247	0,22539	10,4139	0,0000
F4x2POT3 ²	-0,049510	0,00575	-8,5988	0,0000

R² : 0,8280

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO					
CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	2015,95	2	1007,98	70,805	0.0000
ERRO	384,368	27	14,2359		
TOTAL	2400,32	29			

AJUSTE DO MODELO PARA : Velocidade (1L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	3,360538	0,00498	673,8495	0,0000
F4x2VEL1	-0,037725	0,000827	-45,6321	0,0000
F4x2VEL1 ²	0,000075	0,000023	3,2362	0,0032

R² : 0,9991

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO					
CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	5,5400	2	2,7700	16953,8	0,0000
ERRO	0,004411	27	0,000163		
TOTAL	5,54450	29			

AJUSTE DO MODELO PARA : Velocidade (3L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	6,557618	0,036424	180,0372	0,0000
F4x2VEL3	-0,071326	0,005652	-12,6197	0,0000
F4x2VEL3 ²	6,066243E-4	0,000144	0,0420	0,9668

R² : 0,9882

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO					
CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	21,7343	2	10,8672	1214,02	0,0000
ERRO	0,241687	27	0,00895135		
TOTAL	21,9760	29			

TRATOR : 885 4x2 AUXILIAR

SOLO : FIRME

AJUSTE DO MODELO PARA : Força (1L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	2,444643	0,731863	3,3403	0,0020
FAUXFOR1	2,554918	0,136535	18,7125	0,0000
F4x2FOR1²	-0,050964	0,004321	-11,7941	0,0000

R² : 0,9666

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	3383,44	2	1691,72	536,596	0.0000
ERRO	110,344	35	3,15269		
TOTAL	3493,79	37			

AJUSTE DO MODELO PARA : Força (3L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	1,858229	2,107867	0,8816	0,3855
FAUXFOR3	3,103384	0,686066	4,5234	0,0001
FAUXFOR3²	-0,085989	0,046134	-1,8639	0,0729

R² : 0,8368

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	1619,60	2	809,798	77,8959	0.0000
ERRO	291,085	28	10,3959		
TOTAL	1910,68	30			

AJUSTE DO MODELO PARA : Potência (1L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	1,03828	0,645348	1,6089	0,1166
FAUXPOT1	2,754303	0,120395	22,8772	0,0000
FAUXPOT1²	-0,068993	0,00381	-18,1067	0,0000

R² : 0,9569

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	2020,02	2	1010,01	412,018	0.0000
ERRO	85,798	35	2,45137		
TOTAL	2105,82	37			

AJUSTE DO MODELO PARA : Potência (3L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	5,247021	3,280841	1,5993	0,1210
FAUXPOT3	5,448786	1,067844	5,1026	0,0000
FAUXPOT3 ²	-0,260914	0,071806	-3,6336	0,0011

R² : 0,6728

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	1604,23	2	802,113	31,848	0.0000
ERRO	705,187	28	25,1852		
TOTAL	2309,41	30			

AJUSTE DO MODELO PARA : Velocidade (1L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	3,282012	0,08112	40,4588	0,0000
FAUXVEL1	0,028086	0,015134	1,8558	0,0719
FAUXVEL1 ²	-0,001932	0,000479	-4,0333	0,0003

R² : 0,7080

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	3,5524	2	1,77623	45,85	0,0000
ERRO	1,35564	35	0,0387325		
TOTAL	4,90810	37			

AJUSTE DO MODELO PARA : Velocidade (3L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	7,055509	0,364803	19,3406	0,0000
FAUXVEL3	-0,103147	0,118736	-0,8687	0,3924
FAUXVEL3 ²	-0,009472	0,007984	-1,1863	0,2455

R² : 0,7389

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	27,0524	2	13,5262	43,43	0,0000
ERRO	8,71966	28	0,311381		
TOTAL	35,7711	30			

TRATOR : 885 4x2 CONVENCIONAL

SOLO : MOBILIZADO

AJUSTE DO MODELO PARA : Força (1L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	3,8498	0,697713	5,5177	0,0000
M4x2FOR1	0,73738	0,059585	12,3754	0,0000
M4x2FOR1 ²	-0,007645	0,000934	-8,1858	0,0000

R² : 0,9276

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	846,859	2	423,429	186,818	0.0000
ERRO	61,196	27	2,26654		
TOTAL	908,056	29			

AJUSTE DO MODELO PARA : Força (3L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	2,031418	0,55137	3,6792	0,0013
M4x2FOR3	0,933763	0,059301	15,7462	0,0000
M4x2FOR3 ²	-0,012225	0,001201	-10,1794	0,0000

R² : 0,9667

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	691,469	2	345,735	349,371	0.0000
ERRO	21,771	22	0,989591		
TOTAL	713,240	24			

AJUSTE DO MODELO PARA : Potência (1L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	3,951304	0,632136	6,2507	0,0000
M4x2POT1	0,535092	0,053984	9,9120	0,0000
M4x2POT1 ²	-0,008115	0,000846	-9,5906	0,0000

R² : 0,7685

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	182,791	2	91,3953	49,124	0.0000
ERRO	50,2335	27	1,86050		
TOTAL	233,024	29			

AJUSTE DO MODELO PARA : Potência (3L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	4,899562	0,966807	5,0678	0,0000
M4x2POT3	1,36656	0,103838	13,1606	0,0000
M4x2POT3 ²	-0,023693	0,002103	-11,2671	0,0000

R² : 0,8977

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	644,781	2	322,390	106,253	0.0000
ERRO	66,7519	22	3,03418		
TOTAL	711,533	24			

AJUSTE DO MODELO PARA : Velocidade (1L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	3,330277	0,007898	421,6851	0,0000
M4x2VEL1	-0,033338	0,000674	-49,4305	0,0000
M4x2VEL1 ²	-7,105235E-4	0,000011	-0,6721	0,5072

R² : 0,9993

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	11,2300	2	5,61501	19335,6	0,0000
ERRO	0,007840	27	0,000290398		
TOTAL	11,2379	29			

AJUSTE DO MODELO PARA : Velocidade (3L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	6,626618	0,019376	342,0069	0,0000
M4x2VEL3	-0,075738	0,002081	-36,3951	0,0000
M4x2VEL3 ²	0,000154	0,000042	3,6456	0,0014

R² : 0,9987

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	22,7736	2	11,3868	9343,86	0,0000
ERRO	0,0268101	22	0,00121864		
TOTAL	22,8005	24			

TRATOR : 885 4x2 AUXILIAR

SOLO : MOBILIZADO

AJUSTE DO MODELO PARA : Força (1L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	2,44422	0,749603	3,2607	0,0026
MAUXFOR1	1,592808	0,091068	17,4903	0,0000
M4x2FOR1 ²	-0,022734	0,002122	-10,7113	0,0000

R² : 0,9640

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	2184,58	2	1092,29	456,625	0.0000
ERRO	76,5471	32	2,39210		
TOTAL	2261,13	34			

AJUSTE DO MODELO PARA : Força (3L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	1,26879	1,02367	1,2395	0,2282
MAUXFOR3	1,982713	0,209876	9,4471	0,0000
MAUXFOR3 ²	-0,041017	0,008702	-4,7134	0,0001

R² : 0,9716

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	960,683	2	480,342	411,653	0.0000
ERRO	25,6709	22	1,16686		
TOTAL	986,354	24			

AJUSTE DO MODELO PARA : Potência (1L) vs. Patinamento

Var.indep.	coeficiente	erro padrão	valor-t	nível
CONSTANTE	3,304527	0,683601	4,8340	0,0000
MAUXPOT1	1,275196	0,08305	15,3546	0,0000
MAUXPOT1 ²	-0,023673	0,001936	-12,2307	0,0000

R² : 0,9097

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	685,106	2	342,553	172,189	0.0000
ERRO	63,6607	32	1,98940		
TOTAL	748,767	34			

AJUSTE DO MODELO PARA : Potência (3L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	2,051056	1,783739	1,1499	0,2625
MAUXPOT3	3,9616	0,365708	10,8327	0,0000
MAUXPOT3 ²	-0,137705	0,015164	-9,0813	0,0000

R² : 0,8946

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	728,639	2	364,320	102,830	0.0000
ERRO	77,9442	22	3,54292		
TOTAL	806,584	24			

AJUSTE DO MODELO PARA : Velocidade (1L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	3,55102	0,009643	368,2654	0,0000
MAUXVEL1	-0,044351	0,001171	-37,8593	0,0000
MAUXVEL1 ²	0,00017	0,000027	6,2186	0,0000

R² : 0,9979

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	6,32776	2	3,16388	7993,17	0,0000
ERRO	0,0126663	32	0,000395823		
TOTAL	6,34043	34			

AJUSTE DO MODELO PARA : Velocidade (3L) vs. Patinamento
 Var.indep. coeficiente erro padrão valor-t nível

CONSTANTE	6,663207	0,137293	48,5326	0,0000
MAUXVEL3	-0,000203	0,028148	-0,0072	0,9943
MAUXVEL3 ²	-0,007072	0,001167	-6,0595	0,0000

R² : 0,9815

ANÁLISE DE VARIÂNCIA PARA A REGRESSÃO

CV	SOMA QUAD.	GL	QUAD.MÉDIO	F	VALOR-P
MODELO	26,8368	2	13,4184	639,29	0,0000
ERRO	0,461764	22	0,0209893		
TOTAL	27,2986	24			

Apêndice VI. Análise estatística das regressões não lineares.

TRATOR : 885 4x2 CONVENCIONAL
SOLO : FIRME

Resultados do ajuste do modelo

	estimativa	erro padrão	razão
coeficiente 1	0,6614644	0,02285355	28,9436
coeficiente 2	14,3207720	1,27618669	11,2215
coeficiente 3	0,0520249	0,3837177	1,3558
total de iterações = 4			

Análise de variância para o modelo ajustado

causa de variação	soma quadr.	Gl	quadr.médio	razão
modelo	15,8961	3	5,2987	2404,3134
erro	0,125618	57	0,002204	
total	16,021700	60		
total (corr.)	2,493698	59		
$R^2 = 0,9496$				

TRATOR : 885 4x2 CONVENCIONAL
SOLO : MOBILIZADO

Resultados do ajuste do modelo

	estimativa	erro padrão	razão
coeficiente 1	0,58067846	0,01517182	38,2735
coeficiente 2	8,18371386	0,53397922	15,3259
coeficiente 3	0,02516322	0,02933514	0,8578
total de iterações = 4			

Análise de variância para o modelo ajustado

causa de variação	soma quadr.	Gl	quadr.médio	razão
modelo	10,7621	3	3,5874	4862,6344
erro	0,038363	52	0,000738	
total	10,800500	55		
total (corr.)	1,290738	54		
$R^2 = 0,9703$				

TRATOR : 885 4x2 AUXILIAR
SOLO : FIRME

Resultados do ajuste do modelo

	estimativa	erro padrão	razão
coeficiente 1	0,6845344	0,02427476	28,1994
coeficiente 2	10,9415250	1,15610665	9,4641
coeficiente 3	0,020711	0,0328174	0,0640

total de iterações = 3

Análise de variância para o modelo ajustado

causa de variação	soma quadr.	Gl	quadr.médio	razão
modelo	10,8873	3	3,6291	1654,8452
erro	0,144738	66	0,002193	

total 11,032000 69

total (corr.) 1,988516 68

$R^2 = 0,9272$

TRATOR : 885 4x2 AUXILIAR
SOLO : MOBILIZADO

Resultados do ajuste do modelo

	estimativa	erro padrão	razão
coeficiente 1	0,61836098	0,01255750	49,2424
coeficiente 2	7,94190977	0,54442043	14,5878
coeficiente 3	0,02346622	0,02306644	1,0173

total de iterações = 4

Análise de variância para o modelo ajustado

causa de variação	soma quadr.	Gl	quadr.médio	razão
modelo	8,7404	3	2,9135	5939,6440
erro	0,027959	57	0,000491	

total 8,768400 60

total (corr.) 1,221093 59

$R^2 = 0,9771$